

Object of research – technique of account of concentration in atmospheric air of harmful substances contained in emissions of the enterprises OND-86.

The purpose of work – construction of the optimized mathematical model adequate OND-86.

СОЗДАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ МОНИТОРИНГА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА

Б. В. Дзюндзюк *
Н. Л. Березуцкая *
Л. И. Марченко *

*Харьковский национальный университет радиоэлектроники
e-mail: op@kture.kharkov.ua
Контактный тел.: 702-13-60

Введение

На всех стадиях своего развития человек был тесно связан с окружающим миром. Но с тех пор как появилось высокоиндустриальное общество, опасное вмешательство человека в природную среду резко усилилось и сейчас грозит стать глобальной опасностью для человечества. Биосфера Земли в настоящее время подвергается нарастающему антропогенному воздействию. При этом можно выделить несколько наиболее существенных процессов, любой из которых не улучшает экологическую ситуацию на планете.

Наиболее масштабным и значительным является загрязнение окружающей среды несвойственными ей веществами химической природы. Среди них – аэрозольные и газообразные загрязнители промышленно-бытового происхождения. Прогрессирует и накопление углекислого газа в атмосфере. Дальнейшее развитие этого процесса будет усиливать нежелательную тенденцию в сторону повышения среднегодовой температуры на планете.

Цель исследования. Учитывая все вышесказанное, становится очевидным необходимость охраны окружающей среды, в частности, воздушного пространства. Однако гораздо легче предупредить болезнь, чем ее лечить. Поэтому большое значение приобретают профилактические меры. Одной из наиболее действенных профилактических мер является тщательный выбор месторасположения промышленных объектов. Но для того, что бы этот выбор был адекватным необходимо наличие соответствующего инструментария для прогнозирования возможных последствий деятельности данного предприятия в разрезе его влияния на окружающую среду как в штатных, так и в аварийном режимах. Поэтому чрезвычайно остро встает вопрос о моделировании процессов распространения выбросов вредных веществ в атмосферном воздухе.

Наиболее адекватной моделью, отражающей протекание данных процессов, является модель ОНД-86 «Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ содержащихся в выбросах предприятий», которая официально утверждена для расчетов на Украине. Однако на сей день не существует ни одной программы, которая бы реализовала даже базовую часть данной модели. Единственная про-

грамма этого плана – "Эол-2000" – позволяет выполнять только вспомогательные расчеты, требует длительного обучения и тщательной настройки. При этом скорость работы данной программы является неудовлетворительной – реализация модели ОНД-86 при помощи данной программы является неоптимальной. Поэтому эта программа непригодна для расчетов в критических ситуациях (в реальном масштабе времени) – в случае аварийных выбросов вредных веществ (ВВ) на предприятии или чрезвычайных ситуациях, возникающих при транспортировке ВВ. В этих случаях является существенной возможность произвести качественную оперативную оценку обстановки на основании быстроизменяющихся данных в кратчайшие сроки. К сожалению, модель ОНД-86 хотя и является адекватной, однако мало пригодна для оптимизации.

Поэтому возникла необходимость в построении оптимизированной математической модели РВВА (распространение вредных веществ в атмосфере), адекватной модели ОНД-86, но более пригодной для программной реализации.

Эта задача была решена аппроксимацией сложных функций более простыми, используя методы регрессионного анализа

Было установлен следующий критерий адекватности: если полученная упрощенная функция имеет коэффициент детерминации R не менее 0.95, то она считается адекватной.

Сформулировано эмпирическое требование к виду функции: функция должна иметь как можно более простой вид; при этом допускается использовать следующие функции и/или их линейную комбинацию (список функций приведен в порядке убывания предпочтения): линейная функция, обратная функция (вида $1/x$), квадратный корень, кубический корень, полином второй степени, полином третьей степени, полином четвертой степени. При выборе из линейных комбинаций вышеприведенных функций предпочтение было отдано комбинации с минимальным числом слагаемых.

Расчет производился с использованием математического пакета MathCad 200 Professional.

Совпадение результатов работы модели РВВА и методики ОНД-86 можно отобразить на примере расчета одного из определяемых коэффициентов.

ПРИМЕР. Расчет коэффициента n , зависящего от линейной скорости выброса v_M .

Коэффициент n определяется в зависимости от v_M по формулам

$$n = 1 \text{ при } v_M \geq 2 \quad (1)$$

$$n = 0.532v_M^2 - 2.13v_M + 3.13 \text{ при } 0.5 \leq v_M < 2; \quad (2)$$

$$n = 4.4v_M \text{ при } v_M < 0.5. \quad (3)$$

Объем выборки – 10000 значений. Расчет производится на интервале (0;9].

Итоговая функция:

$$n = 14.832 + 7.814v_M - 0.518v_M^2 + 0.02v_M^3 - 1.522 \frac{1}{v_M} - 18.611 \sqrt{v_M} \quad (4)$$

Полученная итоговая функция (4) хорошо аппроксимирует исходную функцию, как видно из графика, представленного на рис. 1. Исходная функция показана штриховой линией, полученная – сплошной.

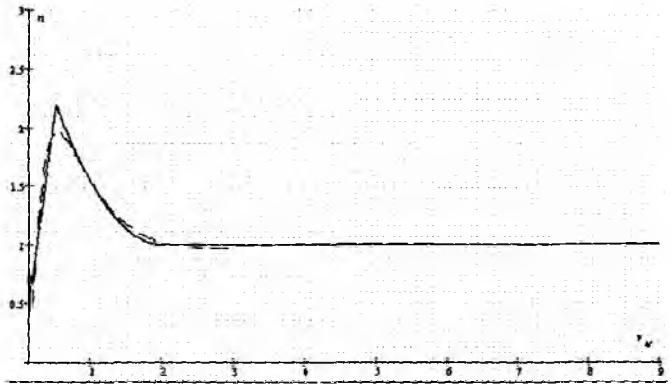


Рисунок 1. Расхождение исходной и полученной функций.

Программный продукт “Расчет поля загрязнения”, выполненный на основе разработанной математической модели, представляет собой моделирование распространения выброса горячей смеси вредных веществ от одиночного источника. Поле, на котором происходит моделирование, представляет собой равнинную местность с перепадами высот не более 50 м. Особый интерес представляет собой возможность визуально увидеть поле загрязнения, а также определить концентрацию вредных веществ в каждой точке поля распространения загрязнений. Программа позволяет увидеть распространение загрязнения как отдельно по каждому из ингредиентов, так и по всем ингредиентам в совокупности.

На настоящий момент программа реализована на построение поля загрязнения пяти химических веществ: оксида серы, диоксида азота, оксида углерода, аммиака и неорганической пыли, но легко может быть расширена до большего числа веществ. Реализованная модель позволяет визуально определить расстояние и области, в которых уровень концентрации вредных веществ превышает норму (ПДК – предельно допустимую концентрацию). На рис. 2 показан перечень ингредиентов тракторного завода, установленная «галочка» рядом с названием ингредиента указывает, что данное вещество следует отображать на карте распределения.

База данных программы содержит в себе 15 предприятий г. Харькова, по каждому из них хранятся максимально приближенные к реальному уровню данные по составу выбрасываемой смеси вредных веществ. Пользователь может выбрать любое из этих 15 пред-

Таблица 1.

Значения коэффициента детерминации R .

Вид функции	R
$y = a_0 + a_1x$	0.31
$y = a_0 + a_1 \frac{1}{x}$	0.603
$y = a_0 + a_1x + a_2 \frac{1}{x}$	0.605
$y = a_0 + a_1\sqrt{x}$	0.434
$y = a_0 + a_1x + a_2\sqrt{x}$	0.734
$y = a_0 + a_1\sqrt[3]{x}$	0.482
$y = a_0 + a_1x + a_2\sqrt[3]{x}$	0.739
$y = a_0 + a_1x + a_2x^2$	0.639
$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3 \frac{1}{x}$	0.663
$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3\sqrt{x}$	0.768
$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3\sqrt[3]{x}$	0.759
$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3$	0.773
$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 + a_4x^4$	0.811
$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3 \frac{1}{x} + a_4\sqrt{x}$	0.889
$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3 \frac{1}{x} + a_4\sqrt[3]{x}$	0.898
$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 + a_4 \frac{1}{x} + a_5\sqrt{x}$	0.967

Тракторный завод	
Высота трубы:	250.00 м.
Диаметр трубы:	0.80 м.
Скорость выброса смеси:	4.86 м/с.
Температура смеси:	150.00 °С.
<input checked="" type="checkbox"/> Оксид серы	24.40 кг/м³.
<input checked="" type="checkbox"/> Диоксид азота	0.00 кг/м³.
<input checked="" type="checkbox"/> Оксид углерода	3.90 кг/м³.
<input checked="" type="checkbox"/> Аммиак	0.00 кг/м³.
<input checked="" type="checkbox"/> Неорганическая пыль	4.00 кг/м³.

Рисунок 2. Пример параметров тракторного завода и уровня его выбросов.

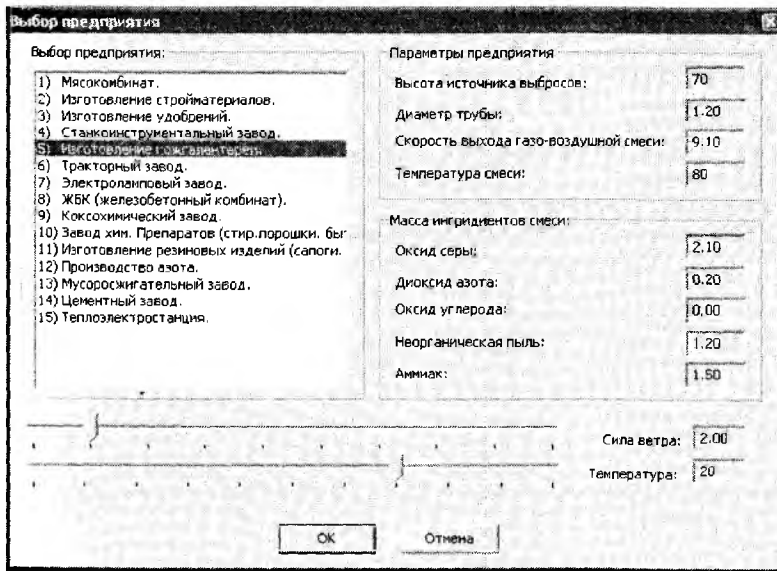


Рисунок 3. База данных предприятий и пример их выбора.

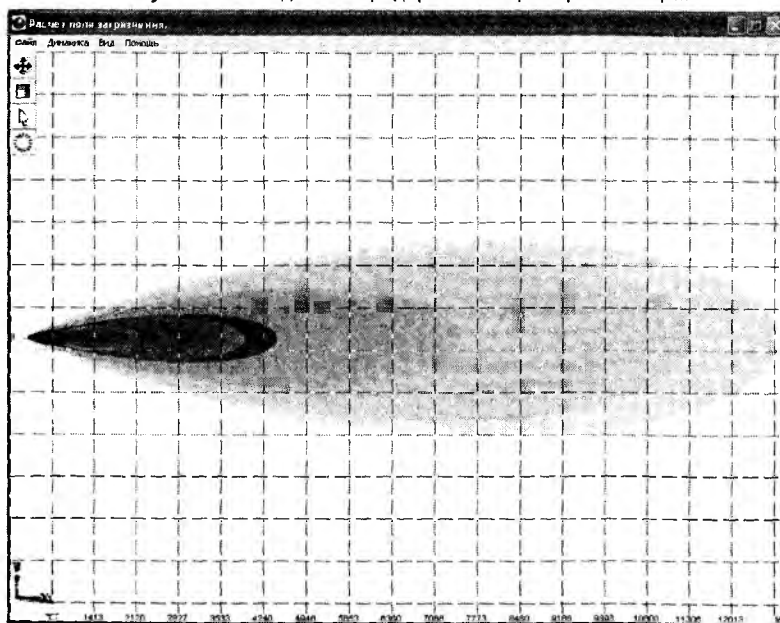


Рисунок 4. Распределение выброса для тракторного завода.

приятный, задать расчетные параметры: силу ветра (предполагается, что роза ветров дует слева направо) до 10м/с, температуру наружного воздуха в пределах -30С до +50С и т.п.. После подтверждения пользователь видит построенное поле распространения выброса вредных веществ. На рис. 3 можно увидеть пример выбора предприятий, а на рис. 4 пример распределения поля загрязнения.

Интерфейс пакета удобен и интуитивно понятен, он позволяет легко масштабировать, перемещаться по карте, а так же, как уже было сказано выше, позволяет просматривать распределение загрязнения как отдельно по каждому из ингредиентов, так и по всем ингредиентам в совокупности. Теоретические сведения о методике расчета поля загрязнения, норматив-

ные данные об уровнях предельно-допустимых концентраций ВВ, «Руководство пользователя», в доступной форме описывающее процесс работы программы и действия пользователя делают программный продукт универсальным и комфортным для всех пользователей, независимо от уровня их начальных знаний в теоретических вопросах о распространении и методах расчета полей загрязнения и компьютерной подготовки. Приятной особенностью пакета является возможность создания отчетов в приложении Microsoft Word, фактически перенесение результатов работы на бумагу.

После моделирования поля загрязнения пользователю предоставляется возможность произвести прогноз распределения и концентрации выбросов в результате применения различных методов очистки. Пользователь выбирает методы очистки и их последовательность, что является существенным при применении этих методов в реальной жизни. Для просмотра результатов (эффективность выбранного метода очистки) следует выбрать переключатель "Показать результат очистки". Как и в случае с выбором предприятия пользователю снова предоставляется возможность просматривать распределение загрязнения в воздухе как отдельно по каждому из ингредиентов, так и по всем ингредиентам в совокупности. После получения нового поля загрязнения пользователь может определить концентрации вредных веществ в определенных точках до и после применения методов очистки.

Из вышесказанного можно сделать вывод, что цель данной работы – создание на основе

ОНД-86 математической модели распространения вредных веществ в атмосфере (РВВА), которая (с некоторым наперед заданным отклонением) соответствует исходной модели, но при этом более пригодна для программной реализации с учетом новейших достижений в области современной микропроцессорных систем – достигнута.

В качестве практического применения пакет может иметь множество приложений, например:

- Перспектива строительства предприятий на определенной территории. Исследование поля загрязнения с учетом розы ветров позволит рассчитать расположение предприятия в определенном месте, минимизировав распространение загрязнения в санитарной зоне, определить санитарную зону;

- Минимизация выбросов предприятия. Изучение поля загрязнения в сочетании с применением очистки выбросов позволит уменьшить концентрацию вредных веществ в близлежащих жилых районах;

- Изучение концентрации выбросов вредных веществ. Возможность определения уровня загрязнения в каждой точке поля загрязнения при различных погодных условиях позволяет сделать выводы о перспективе работы данного предприятия и предпринять необходимые меры для уменьшения массы вредных веществ в выбросах;

Данный программный продукт «Расчет поля загрязнения» реализован для работы в операционной системе Windows NT/XP при использовании полноцветной 16-, 24- или 32-битной графики. Требуемый объем места на жестком диске – 1 Мб, оперативная память – 128 Мб, класс процессора Pentium–III 500 МГц, желательно 256 Мб и процессор класса Pentium–IV 2000МГц. Также требуется установленный пакет Microsoft Office с наличием Microsoft Word.

Перспектива развития данного пакета зависит от требований, которые будут предъявлены к проекту в целом. На текущий момент предполагается следующее развитие данного пакета:

- Добавление новых предприятий в базу данных, а также возможности изменения паспортных данных предприятий;
- Увеличение числа и типов вредных веществ;
- Изучение распределения загрязнений от нескольких источников одновременно;
- Изучение поля загрязнения “холодных выбросов”.

Литература

1. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. ОНД–86. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1987.
 2. Зуев Е.А. Язык программирования Turbo Pascal 6.0. – М.: Унитех, 1992. – 298 с.: ил.
 3. Орлик С.В. Секреты Delphi на примерах: – М.: БИНОМ. – 316 с.: ил.
 4. Фёрстер Э., Рёнд Б. Методы корреляционного и регрессионного анализа: Руководство для экономистов/Пер. с нем. и предисл. В.М. Ивановой. – М.: Финансы и статистика, 1983. – 302 с.: ил
-