

УДК 004.932.2+004.932.72'1

**Стецюк С.В., Павлий В.А.**

Донецкий национальный технический университет, г. Донецк  
кафедра компьютерных систем мониторинга

## **КОНЦЕПЦИЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПРИМЕСИ В АТМОСФЕРЕ НА ОСНОВЕ ВОЛНОВОГО АЛГОРИТМА**

### *Аннотация*

*Стецюк С.В., Павлий В.А. Концепция моделирования распространения примеси в атмосфере на основе волнового алгоритма. Выполнен анализ существующих моделей для расчета концентрации примеси в атмосферном воздухе. Заложена концепция использования алгоритмов цифровой волны в качестве основы для разработки новой модели расчета концентрации примеси в атмосфере.*

*Ключевые слова:* модели атмосферной диффузии, волновой алгоритм.

**Введение.** В последние годы проблема обеспечения экологической безопасности стала особенно остро. Основной причиной этого является рост промышленности и автотранспорта во всем мире. В рамках среднего промышленного города может существовать до миллиона источников выбросов вредных веществ, которые выбрасывают несколько сотен различных вредных веществ в атмосферный воздух, воду и почву, и которые затем попадают в живые организмы, в том числе и в человека.

Все источники выбросов вредных веществ обычно делят на передвижные и стационарные.

Передвижные источники выбросов – это транспортные средства и самоходные машины, оснащенные двигателями, эксплуатация которых влечет за собой выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух [1].

Стационарные источники выбросов – это источники, перемещение которых без несоразмерного ущерба их назначению невозможно [1]. В промышленных городах стационарными источниками являются трубы заводов, котельных, теплоэлектростанций, шахты и другие сооружения.

Отличительной чертой стационарных источников является то, что их выбросы происходят на большой высоте, что приводит к рассеиванию облака примесей над достаточно большой площадью земной поверхности. Направление движения облака и площадь его рассеивания зависит от направления и скорости ветра.

Для оценки или прогнозирования распространения примеси во времени и пространстве, используются модели, основанные на численных или аналитических решениях общего уравнения диффузии. Эти модели известны также как модели атмосферной дисперсии, дисперсионные модели воздуха и модели качества воздуха [2].

Модели атмосферной диффузии требуют ввода большого количества данных, при этом основными являются:

1) метеорологические параметры (температура окружающей среды, скорость и направление ветра и др.);

2) параметры выбросов (место расположения и высота источника, диаметр вентиляционной трубы и скорость выхода, температуры на выходе и массовый расход);

3) расположение, высота и ширина каких-либо препятствий (например, зданий или других сооружений) на пути газового факела выбросов.

Прогнозирование распространения вредных веществ является очень важной задачей для экологов. На сегодняшний день существует несколько методов оценки распространения примесей в атмосфере: аналитико-эмпирические, численные и статистические. Их подробное описание приведено в источнике [3].

Для увеличения скорости математических расчетов, а также визуального представления воздушных масс используют специальные компьютерные программные продукты, построенные на основе указанных моделей. Помимо программной реализации такие продукты могут включать:

1) модуль препроцессора для ввода метеорологических и других данных;

2) модуль постпроцессора для построения графиков выходных данных и/или обозначения на карте зоны загрязнения.

За последние двадцать лет было создано около 200 таких программных продуктов. В последние годы отечественное производство не занималось созданием новых дисперсионных моделей, в отличие от большинства европейских стран и США. Так, наиболее популярными современными продуктами Великобритании стали ADMS-5 (2013 г.), GASTAR (2010 г.), NAME (2009 г.); Германии - AUSTAL2000 (2009 г.); Италия – TCAM (2009 г.); Австрия – GRAL (2010 г.). Рассмотрим эти программные продукты немного подробнее.

### **1. Наиболее популярные и современные программные продукты моделей атмосферной диффузии.**

**ADMS 5** (Atmospheric Dispersion Modelling System) – трехмерная квази-гауссовская модель для оценки качества атмосферного воздуха в нестабильных условиях. Данная модель была разработана Кембриджским экологическим исследовательским институтом в сотрудничестве с британской метеорологической службой, National Power plc и университетом Суррея. Ее первая версия была выпущена в 1993 году, а текущий релиз – ADMS 5 был выпущен в апреле 2013 года.

Ограничением модели являются быстро меняющиеся погодные условия. Основными пользователями данного продукта являются Великобритания, Северная Ирландия, Шотландия, а также ряд других стран Европы, Азии, Австралии. В США данная модель принята в качестве альтернативы.

**GASTAR** – одномерная интегральная модель созданная консультантами

экологических исследований Кембриджа. Ее назначением является моделирование дисперсии плотных облаков газа из промышленных разливов, а также оценка рисков и планирование реагирования на чрезвычайные ситуации. В данной модели присутствуют следующие ограничения:

- 1) основная модель дисперсии не подходит для положительной плавучести релизов;
- 2) при моделировании местности используются простые склоны, а не данные карты;
- 3) анализ однокомпонентных веществ;
- 4) отсутствие химических реакций.

**NAME** (Nuclear Accident ModEl) – модель рассеивания загрязняющих веществ для реагирования на чрезвычайные ситуации и прогнозирование качества воздуха. Была впервые разработана в Met Office в 1986 году после аварии на Чернобыльской АЭС. На протяжении многих лет модель развивалась и в настоящее время она известна как NAME III.

**AUSTAL2000** – выпущено немецким агентством по окружающей среде. Модель создана и проверена в соответствии с немецким руководством VDI 3945/3. Программный пакет включает в себя диагностическую модель поля ветра (TALdia) для профиля местности и/или строительных конструкций. В настоящее время является немецкой официальной эталонной моделью. Кроме того, AUSTAL2000 все чаще используется в Австрии и Швейцарии.

**TCAM** (The Transport Chemical Aerosol Model) – трехмерная многофазная модель Эйлера предназначенная для моделирования рассеивания загрязняющих веществ (в частности фотохимических и аэрозолей) в мезомасштабе. Разработан ESMA (Environmental Systems Modeling and Assessment) университетской группой в Брешиа (Италия).

Не рекомендуется при глобальном масштабе моделирования.

**GRAL** (Graz Lagrangian Model) – была разработана институтом внутреннего сгорания и термодинамики и департаментом качества воздуха в Штирии (Австрия). Не имеет возможности обработки распространения облака, не учитывает неоднородные области и здания. Имеет ограничения в отношении моделировании временных рядов [4].

Проведенный анализ указанных моделей и программных продуктов на их основе показал, что все наиболее популярные модели имеют ряд существенных недостатков, основным из которых является неопределенность исходных данных (для получения наиболее качественного прогноза необходимо вводить данные обо всех источниках примеси). Кроме того, все рассматриваемые алгоритмы не учитывают форму и кривизну земной поверхности, застройку поверхности зданиями, а потому не могут быть использованы для получения качественного прогноза на городском и региональном уровне, а используются лишь для обобщенной оценки на больших территориях. Причина этого в том, что для учета застройки местности в частичные решения уравнений диффузии необходимо вводить

большое количество граничных условий первого рода, которые описывают каждое отдельно взятое здание. Решить такое уравнение достаточно сложно.

Вместе с тем, рассматриваемая в статье задача может быть решена посредством адаптации готовых решений из других областей науки. Одним из таких решений может стать волновой алгоритм, основное применение которого заключается в поиске кратчайшего пути между двумя точками. Процесс распространения цифровой волны, описываемый в алгоритме, схож с процессом распространения примеси в атмосфере, поэтому данный алгоритм с определенными модификациями может быть использован для решения поставленной задачи. Ниже приведено краткое описание волнового алгоритма.

**2. Описание волнового алгоритма.** Волновой алгоритм – это алгоритм поиска кратчайшего пути на планарном графе.

Данный алгоритм работает на замкнутом поле произвольной формы и состоит из трех этапов.

1). *Инициализация.* Все поле разбивается на множество прямоугольных ячеек, среди которых две ячейки – стартовая и финишная. Все остальные ячейки подразделяется на два подмножества: подмножество проходимых и подмножество не проходимых (препятствий) ячеек.

2). *Распространение волны.* От стартовой ячейки порождается шаг во все соседние ячейки, если только они не принадлежат подмножеству не проходимых или ранее меченых ячеек. Если условия выполняются, то в ячейку записывается число шагов (т.н. фронт волны) до нее от стартовой (оно равно 1 на начальном этапе). Каждая ячейка меченная числом шагов от стартовой, сама, на время, становится стартовой. Действия повторяются до тех пор, пока любой шаг будет невозможен.

3). *Восстановление кратчайшего пути.* Данный этап необходим для непосредственного нахождения кратчайшего пути между парой ячеек. Он происходит в обратном направлении, т.е. от финишной к стартовой. Здесь на каждом шаге выбирается ячейка, имеющая атрибут расстояния от стартовой на единицу меньше текущей ячейки [5].

В результате работы данного алгоритма возможны две ситуации:

- 1) выдача кратчайшего пути;
- 2) выдача сообщения о непроходимости.

**3. Концепция использования алгоритма цифровой волны при моделировании распространения примеси.** Концепция применения алгоритма цифровой волны предполагает:

1) наличие регулярной решетки с некоторым шагом, величина которого уточняется при разработке модели. Для указанной решетки должна быть выполнена геопривязка к территории рассматриваемого объекта;

2) все ячейки данной решетки, которые полностью или частично перекрывают здания (либо другие непроходимые объекты) образуют множество непроходимых ячеек;

3) стартовой ячейкой является источник выбросов. В случае если

источник выбросов не является точечным (например, линейный или площадной), количество стартовых ячеек может быть несколько.

4) финишная ячейка в данной модификации алгоритма не используется, процесс моделирования протекает бесконечно с момента старта, что соответствует реальным условиям распространения примеси. Процесс моделирования может быть приостановлен, только если концентрация примеси во всех ячейках решетки длительное время не изменяется;

5) для расчета фронта волны для 8 смежных ячеек используются коэффициенты, которые выводятся из базового уравнения диффузии. Эти коэффициенты, являясь частными решениями коэффициента турбулентной диффузии. Данные коэффициенты зависят с одной стороны от текущих значений метеорологических показателей – направление и скорость ветра, температура, влажность, давление и т.п. С другой стороны, значения данных коэффициентов зависят от индивидуальных особенностей распространяемой примеси – молярная масса, состав примеси и т.п.

**Выводы.** В данной работе предложена концепция применения алгоритмов цифровой волны для решения задачи моделирования распространения примеси в атмосферном воздухе в пространственно-временных координатах. Эта концепция может стать основой для разработки одноименного метода моделирования, который, как следует из проведенного анализа существующих моделей, в свою очередь, может стать принципиально новым методом моделирования распространения примеси в атмосфере.

### Список литературы

1. Национально-правовой интернет портал республики Беларусь – Режим доступа: <http://pravo.by/main.aspx?guid=3871&p0=H10800002&p2={NRPA}> – Загл. с экрана.
2. The Encyclopedia of Earth – Режим доступа: <http://www.eoearth.org/view/article/51cbf1f37896bb431f6a74ac/> – Загл. с экрана.
3. Павлий В.А. Построение информационной модели расчета распространения примеси в приземном слое атмосферы над территориально-распределенными объектами [Текст] : научн. журн. / Виталий Александрович Павлий // Наук. праці Донецького Національного технічного університету. – [під ред. Є. О. Башкова]. – Сер. “Системний аналіз та інформаційні технології у науках про природу та суспільство”. – (САІТ-2011). – Вип. 1(133) – Донецьк: ДонНТУ, 2011. – С. 71 – 81.
4. European Topic Centre on Air and Climate Change/ Whole model's catalogue – Режим доступа: [http://pandora.meng.auth.gr/mds/strquery.php?wholedb&MTG\\_Session=6cf107819f4e72204c4b1cd0dff0a57b](http://pandora.meng.auth.gr/mds/strquery.php?wholedb&MTG_Session=6cf107819f4e72204c4b1cd0dff0a57b) – Загл. с экрана.
5. Википедия: свободная энциклопедия – Режим доступа: [http://ru.wikipedia.org/wiki/Алгоритм\\_Ли](http://ru.wikipedia.org/wiki/Алгоритм_Ли) – Загл. с экрана.