

ПРОБЛЕМЫ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ И ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ

№ 3(41) 2022

Журнал основан в 2015 году.

Издается 6 раз в год.

Учредитель:

Научно-исследовательский институт развития цифровых технологий и
искусственного интеллекта.

Главный редактор:

Равшанов Н.

Заместители главного редактора:

Азамов А.А., Арипов М.М., Шадиметов Х.М.

Ответственный секретарь:

Ахмедов Д.Д.

Редакционный совет:

Азамова Н.А., Алоев Р.Д., Бурнашев В.Ф., Гасанов Э.Е. (Россия),
Загребина С.А. (Россия), Задорин А.И. (Россия), Игнатъев Н.А.,
Ильин В.П. (Россия), Исмагилов И.И. (Россия), Кабанихин С.И. (Россия),
Карачик В.В. (Россия), Маматов Н.С., Мирзаев Н.М., Мухамедиева Д.Т.,
Нормуродов Ч.Б., Нуралиев Ф.М., Опанасенко В.Н. (Украина), Раджабов С.С.,
Расулов А.С., Самаль Д.И. (Беларусь), Старовойтов В.В. (Беларусь), Хаётов А.Р.,
Хамдамов Р.Х., Хужаев И.К., Хужаеров Б.Х., Чье Ен Ун (Россия),
Шабозов М.Ш. (Таджикистан), Шадиметов Х.М., Dimov I. (Болгария),
Li Y. (США), Mascagni M. (США), Min A. (Германия), Rasulev V. (США),
Schaumburg H. (Германия), Singh D. (Южная Корея), Singh M. (Южная Корея).

Журнал зарегистрирован в Агентстве информации и массовых коммуникаций при
Администрации Президента Республики Узбекистан.

Регистрационное свидетельство №0856 от 5 августа 2015 года.

ISSN 2181-8460, eISSN 2181-046X

При перепечатке материалов ссылка на журнал обязательна.

За точность фактов и достоверность информации ответственность несут авторы.

Адрес редакции:

100125, г. Ташкент, м-в. Буз-2, 17А.

Тел.: +(99871) 231-92-45.

E-mail: info@pvpm.uz.

Сайт: www.pvpm.uz.

Дизайн и компьютерная вёрстка:

Шарипов Х.Д.

Отпечатано в типографии НИИ РЦТИИ.

Подписано в печать 29.06.2022 г.

Формат 60x84 1/8. Заказ №3. Тираж 100 экз.

Содержание

<i>Бурнашев В.Ф., Кайтаров З.Д.</i> Математическое моделирование многофазной фильтрации с учетом деформации пористой среды	5
<i>Хужаев И.К., Ахмаджонов С.С., Махмудов С.А.</i> Смешанный способ решения задачи о состоянии полубесконечной трубы при квадратичном законе сопротивления	21
<i>Равшанов Н., Назаров Ш., Боборахимов Б.</i> Модель и аналитическое решение задач конвективного переноса и диффузии загрязняющего вещества в атмосфере	34
<i>Равшанов Н., Аминов С.</i> Численное моделирование фильтрации газа в неоднородной пористой среде для расчета газодинамических параметров процесса	48
<i>Жураев Г.У., Мусурмонова М.О.</i> Нестационарные поперечные волны от толстостенной сферической оболочки в пористо-упругом пространстве	67
<i>Эшмаматова Д.Б.</i> Композиции отображений лотки-вольтерра, действующих в двумерном симплексе, связь с вирусными заболеваниями и их численный анализ	79
<i>Алов Р.Д., Рихсибоев Д.Р., Яхёхонова С.О., Абрайкулов С.Ю.</i> Неявная противопоточная разностная схема для симметрической T – гиперболической системы с переменными коэффициентами	92
<i>Арипов М.М., Нигманова Д.Б.</i> К качественным свойствам решений двойной нелинейной параболической системы с источником	103
<i>Джумаёзов У.З.</i> Численное решение плоской краевой задачи теории упругости в деформациях	120
<i>Фаязов К.С., Рахматов Х.Ч.</i> Регуляризация некорректной краевой задачи для параболического уравнения с меняющимся направлением времени	130
<i>Хамдамов У.Р., Мурадов Ф.А., Умаров М.А., Бойназаров И.М.</i> Алгоритм обнаружения и распознавания сигналов светофора методами цветового и контурного анализа	156

УДК 004.4

МОДЕЛЬ И АНАЛИТИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ КОНВЕКТИВНОГО ПЕРЕНОСА И ДИФФУЗИИ ЗАГРЯЗНЯЮЩЕГО ВЕЩЕСТВА В АТМОСФЕРЕ

¹Равшанов Н., ²Назаров Ш., ³Боборахимов Б.
ravshanzade-09@mail.ru, nazarov_shakhzod@mail.ru,
uzbekpuy@gmail.com

¹Научно-исследовательского института развития цифровых технологий
и искусственного интеллекта,
100125, Узбекистан, Ташкент, м-в. Буз-2, 17А;

²Бухарский государственный университет,
200118, Узбекистан, Бухара, ул. М. Икбол дом 11;

³Ташкентский университет информационных технологий имени
Мухаммада-ал-Хоразми 100202, Узбекистан, Ташкент, ул. Амира Темура, 108.

Численными расчетами установлены, что при штиле процесс распространения загрязняющих веществ в атмосфере происходит за счет диффузионного переноса их в атмосфере. В таких случаях для прогнозирования загрязняющих веществ в атмосфере достаточно решать уравнения диффузия и им соответствующие краевые условия.

Проведенные вычислительные эксперименты показали, что с ростом мощности источника растет концентрация загрязняющих веществ вокруг источника с приближением скорости воздушного потока к нулю. Концентрация загрязняющих веществ в приземном слое атмосферы со временем изменяются в зависимости от реальных скоростей ветра. При увеличении скорости ветра, не наблюдается накопление концентрации загрязняющих веществ вокруг источника, а область распространения их со временем увеличивается. Всесторонний анализ проведенных численных расчетов показало, что для моделирования процесса переноса и диффузии загрязняющих веществ в приземном слое атмосферы на основе прогноза скоростей ветра по трем направлениям и орография рассматриваемого региона, можно разработать математическую модель с учетом или без учета переноса субстанции.

Ключевые слова: Математическая модель, аналитическое решение, процесс диффузии вредных веществ, мощность источника, концентрация загрязняющих веществ, скорость ветра, численный алгоритм.

Цитирование: Равшанов Н., Назаров Ш., Боборахимов Б. Модель и аналитическое решение задач конвективного переноса и диффузии загрязняющего вещества в атмосфере // Проблемы вычислительной и прикладной математики. – 2022. – № 3(41). – С. 34-47.

1 Введение

Уровень загрязнения атмосферы особенно высок в густонаселенных странах с быстрым экономическим ростом промышленности. В результате увеличения и интенсивного роста производства объем выбрасываемых в атмосферу вредных веществ в виде аэрозолей растет, что может привести к дисбалансу экологической ситуации с возможным изменением климатических условий.

В связи с этим, проблема охраны окружающей среды и её защита от техногенных факторов является актуальной и требующей бескомпромиссного решения.

Одним из эффективных методов и средств исследования, прогнозирования, контроля, мониторинга состояния окружающей среды и предотвращения экологических катастроф в промышленных регионах является математический аппарат – «модель, алгоритм и программное средство». На основе этого проведенное комплексное исследование можно принимать управленческое решение по данной проблеме.

В статье [1] рассмотрены две численные модели для прогнозирования качества воздушной среды на улицах городов. Для решения задачи гидродинамики, связанной с обтеканием зданий, используется модель идеальной жидкости. Для численного интегрирования уравнений модели используются неявные разностные схемы. Отличительной особенностью разработанных моделей является оперативность в получении прогнозных данных.

Авторами работ [2] разработаны численные модели, которые позволяют рассчитать 3D аэродинамику ветрового потока в условиях городской застройки и процесс массопереноса выбросов от автотрассы. Выполнены расчеты по определению зоны загрязнения, которая формируется возле зданий, расположенных вдоль автомагистрали.

Параметризация приземного слоя выполнена на основе теории Мони́на-Обухова [3], которая является основным инструментом при изучении процессов взаимодействия «поверхность-атмосфера».

Некоторые важные результаты численного моделирования турбулентности и диффузии примесей приземного слоя атмосферы, были представлены в работах Д.Л.Лайхтмана [4]. Значительные достижения в области математического моделирования атмосферных процессов содержатся в работах А.Е.Алояна и его последователей [5].

В работе [6] предложенный метод позволяет использовать стандартные метеорологические наблюдения для оценки высот слоев перемешивания, сведения о которых необходимы при расчетах уровня загрязнения атмосферы и для прогноза зон интенсивной турбулентности, образующихся вблизи поверхности для уточнения условий взлета и посадки самолетов.

Исследование [7] посвящено построению математической модели для рассеивания и перенос загрязняющих веществ в атмосфере. Решение задачи пассивного распространения монодисперсных примесей осуществлялось численными методами. В работе был разработан алгоритм для случая переменного профиля скорости. Также был разработан единый вариант вычислительного алгоритма и теоретическое обоснование применимости численных методов для вычислительного эксперимента.

В статье [8] приведен новый подход к разработке математической модели и мониторинга загрязнения приземного слоя атмосферы горнопромышленного региона. В данной статье предлагается метод и программный комплекс, позволяющий на основе статистических данных по выбросам загрязняющих веществ горно производственных предприятиях в экологически проблемных местах промышленного региона и выполнять оперативный прогноз концентрации вредных веществ в атмосфере при заданных метеорологических условиях и оперативного управления ими с целью нормализации экологической обстановки региона.

В статье [9] основное внимание уделяется проблеме визуализации больших данных мониторинга качества воздуха во всех крупных городах в масштабе всей страны.

Для достижения интуитивно понятной визуализации этого набора данных в этом исследовании, разработаны два новых инструмента визуализации для многогранной визуализации временных рядов (timezoom.js) и слой гибридной карты динамического символа для устранения помех для тематического картирования (symadpative.js).

В статье [10] рассмотрена математическая модель миграции аэрозольных частиц, которое позволяет прогнозировать воздействие их источника на прилегающие территории и залегающие на них грунты. Для проверки достоверности модели были проведены экспериментальные исследования по оценке рассеяния аэрозольных частиц из облаков, образовавшихся при буровзрывных работах в карьере по добыче гранита. В статье также представлены результаты экспериментальной проверки достоверности разработанной модели.

В работе [11] исследованы физико-химические свойства растворов поверхностно-активных веществ (поверхностное натяжение и краевой угол смачивания), а также определена оптимальная концентрация поверхностно активных веществ, для улучшения процессов смачивания и слипаемости пылевых частиц. Выявлено целесообразность применения поверхностно-активных веществ, для обеспыливая атмосферного воздуха и улучшения экологического состояния окружающей среды в целом.

В статье [12] разработана математическая модель, описывающая рассматриваемый процесс с помощью уравнений гидромеханики с соответствующими начальными и краевыми условиями и программное обеспечение для проведения комплексного исследования процесса переноса и диффузии загрязняющих веществ, выброшенных в окружающую среду из производственных объектов. Приведены результаты численных расчетов на ЭВМ.

В статье [13] разработана математическая модель для прогнозирования, мониторинга и оценки экологического состояния атмосферы и подстилающей поверхности пассивными примесями, где учитывается скорость перемещения мелкодисперсных частиц в атмосфере по трём направлениям.

В работе авторов [14] разработана математическая модель для прогнозирования, мониторинга и оценки экологического состояния атмосферы и подстилающей поверхности пассивными и активными примесями, где учитывается изменчивая скорость перемещения частиц в атмосфере. Для определения скорости перемещения мелкодисперсных частиц в атмосфере получена система нелинейных уравнений, где учтены основные физико-механические свойства частиц и скорость воздушной массы в атмосфере, которые играют важную роль.

2 Постановка задачи

Для исследования и анализа основных параметров, воздействующей на перенос и диффузии загрязняющих веществ в приземном слое, за счет которых происходит изменение концентрации аэрозольных частиц, рассмотрим в подвижном пограничном слое математическую модель, с учетом в мгновенном источнике и скоростью движения воздушной массы атмосферы U :

$$\frac{\partial \theta(x, t)}{\partial t} + U \frac{\partial \theta(x, t)}{\partial x} = \mu_x \frac{\partial^2 \theta(x, t)}{\partial x^2} \quad (1)$$

с начальными и граничными условиями вида

$$\theta(x, t) = M\delta(x) \text{ при } t = 0 \quad (2)$$

$$\theta(x, t) = 0 \quad \text{при} \quad x \rightarrow \infty \quad (3)$$

Из постановки задачи (1) и (3) видно, что изменение концентрации загрязняющих веществ в приземном слое атмосферы, происходит в зависимости от скорости воздушной массы атмосферы и значение коэффициента диффузии, изменяющие в зависимости от температуры и погодно-климатических факторов рассматриваемого региона.

Для интегрирования и получения аналитическое решение поставленной задачи (1)–(3) переходим от переменных (x, t) новых переменных (ζ, t) , в которых $\zeta = x - Ut$ и учитывая, что

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} = -U, \quad \frac{\partial \zeta}{\partial x} = 1$$

вместе уравнение (1) получим:

$$\begin{cases} \frac{\partial \theta(x, t)}{\partial t} = \frac{\partial \theta(x, t)}{\partial \zeta} \frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial \theta(x, t)}{\partial t} \frac{\partial t}{\partial t} = -U \frac{\partial \theta(x, t)}{\partial \zeta} + \frac{\partial \theta(x, t)}{\partial t}; \\ \frac{\partial \theta(x, t)}{\partial t} = \frac{\partial \theta(x, t)}{\partial \zeta} \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{\partial \theta(x, t)}{\partial t} \frac{\partial t}{\partial x} = \frac{\partial \theta(x, t)}{\partial \zeta}; \\ \frac{\partial^2 \theta(x, t)}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 \theta(x, t)}{\partial \zeta^2}. \end{cases} \quad (4)$$

Подставляя (4) в уравнение (1) и условия (2), (3), получим

$$\frac{\partial \theta(x, t)}{\partial t} = D \frac{\partial^2 \theta(x, t)}{\partial \zeta^2}; \quad (5)$$

$$\theta(x, t) = M \delta(\theta); \quad (6)$$

$$\theta(x, t) = 0 \quad \text{при} \quad \theta \rightarrow \infty \quad (7)$$

Как было показано в работе [15, 16] решение краевой задачи (5)–(7) можно представить в виде:

$$\theta(x, t) = \frac{M}{\sqrt{\pi \mu_x t}} e^{-\frac{\theta^2}{4 \mu_x t}} \quad (8)$$

и подставляя в месте $\theta = x - Ut$ в решение (8), получим

$$\theta(x, t) = \frac{M}{\sqrt{\pi \mu_x t}} e^{-\frac{(x-Ut)^2}{4 \mu_x t}}. \quad (9)$$

Для проведения подробного исследования, процесс переноса и диффузии загрязняющих веществ, в приземном слое атмосферы, в зависимости от скоростей воздушной массы атмосферы и коэффициента диффузии, а также мощности источника загрязнения с помощью полученного решения, проведены численные расчеты. На этой основе прогнозируется концентрация загрязняющих веществ в атмосфере, а результаты проведенных численных расчетов приведены на рис. 1–25.

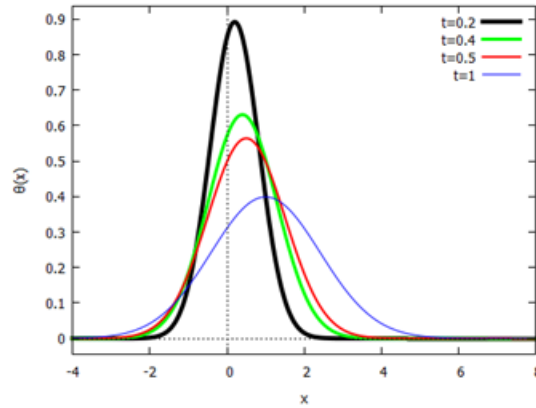


Рис. 1 Распределение $\theta(x, t)$ в различные моменты времени при: $\mu_x = 1$ и $U = 1$.

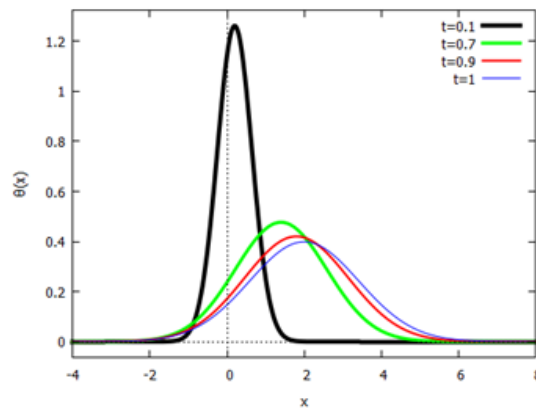


Рис. 2 Распределение $\theta(x, t)$ в различные моменты времени для $\mu_x = 1$ и $U = 2$.

Из кривых рис. 1 и 2 видно, что концентрация загрязняющих веществ в атмосфере со временем линейно уменьшается, а область переноса их по горизонтали существенно зависит от скорости переноса воздушной массы атмосферы в регионе, это особенно заметно из кривых рис. 2.

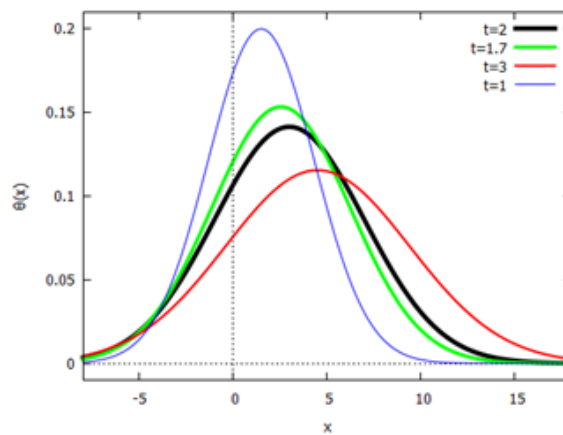


Рис. 3 Распределение $\theta(x, t)$ в различные моменты времени при $\mu_x = 4$ и $U = 1.5$.

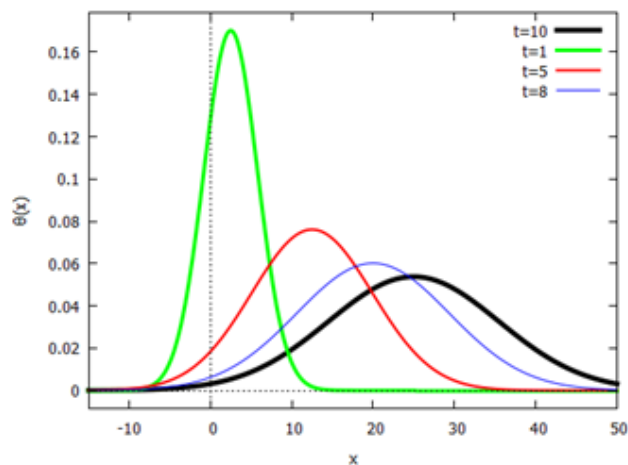


Рис. 4 Распределение $\theta(x, t)$ в различные моменты времени при $\mu_x = 5.5$ и $U = 2.5$.

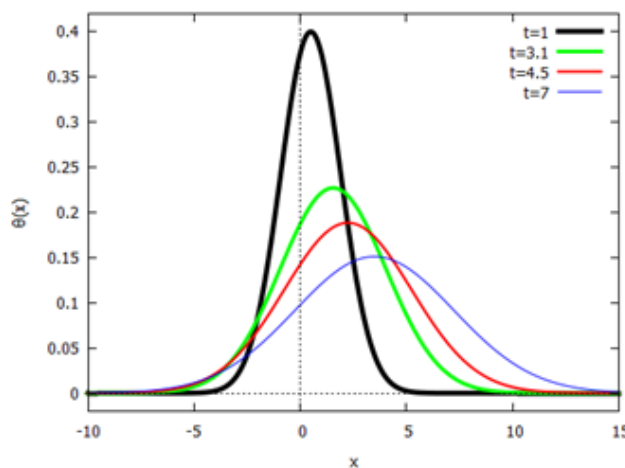


Рис. 5 Распределение $\theta(x, t)$ в различные моменты времени при $\mu_x = 1$ и $U = 0.5$.

На рисунках 3-5 приведены результаты численных расчетов на основе полученного аналитического решения задачи в зависимости от изменения скорости воздушного потока U и коэффициента диффузии μ_x .

Как видно из кривых рис. область распространения загрязняющих веществ существенно зависит от скорости переноса воздушной массы атмосферы. Область рассеивания загрязняющих веществ, пропорционально растет с ростом скорости воздушной массы атмосферы. Анализ численных расчетов показали, что при больших значениях скорости потока воздушной массы атмосферы процесс рассеивания загрязняющих веществ в приземном слое атмосферы происходит только за счет конвективного переноса частиц. Исходя из выше указанного, можно сделать вывод о том, что на основе анализа прогнозные данные скоростей воздушной массы атмосферы достаточно при постановке задачи. Можно решать уравнения конвективного переноса частиц соответствующим им начальными и краевыми условиями.

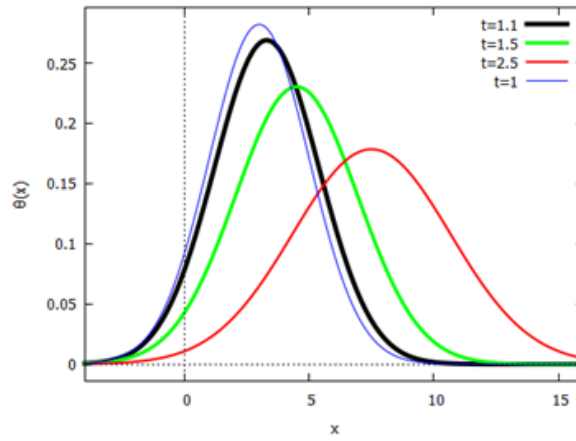


Рис. 6 Распределение $\theta(x, t)$ в различные моменты времени при $\mu_x = 2$ и $U = 3$.

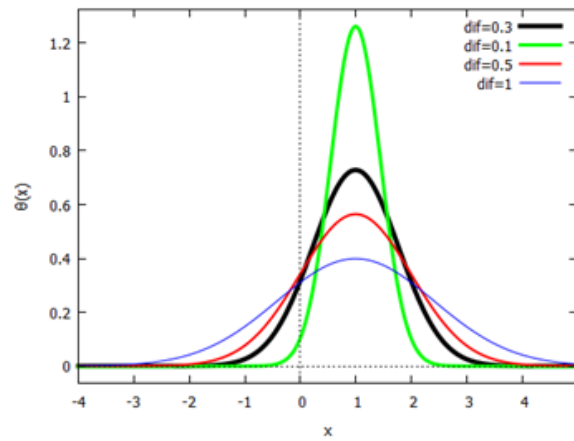


Рис. 7 Распределение $\theta(x, t)$ для различных μ_x , при $U = 1$ и $t = 1$.

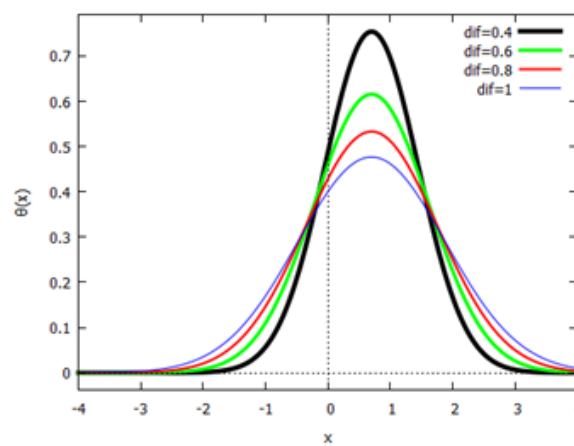


Рис. 8 Распределение $\theta(x, t)$ для различных μ_x , при $U = 2$ и $t = 0.7$.

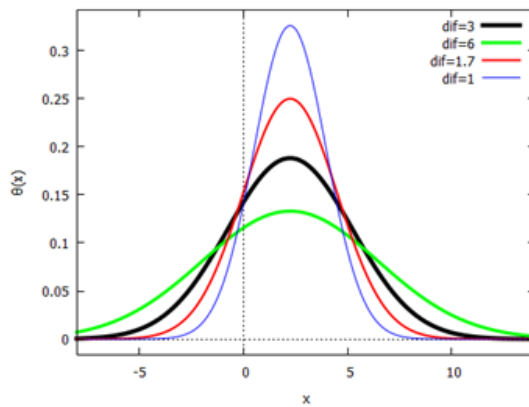


Рис. 9 Распределение $\theta(x, t)$ для различных μ_x , при $U = 1.5$ и $t = 1.5$.

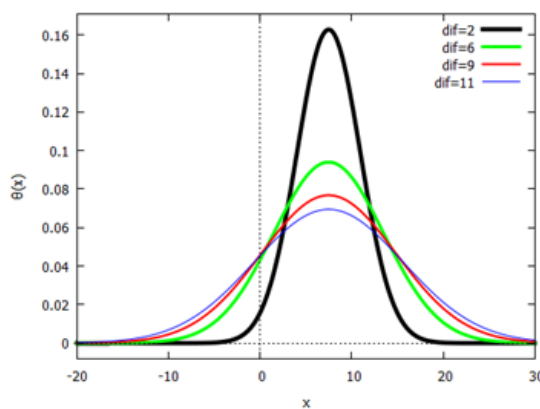


Рис. 10 Распределение $\theta(x, t)$ для различных μ_x , при $U = 2.5$ и $t = 3$.

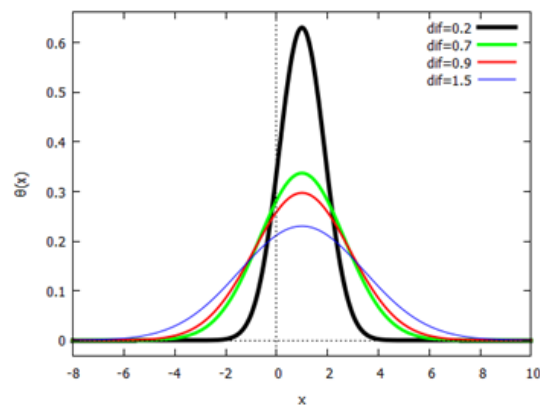


Рис. 11 Распределение $\theta(x, t)$ для различных μ_x , при $U = 0.5$ и $t = 2$.

Проведенный анализ численных расчетов показали, что (кривых рис.8-11) при умеренной скорости воздушного потока на процесс распространения загрязняющих веществ, воздействует коэффициент диффузии аэрозольных примесей в атмосфере. В таких случаях для прогнозирования загрязняющих веществ в атмосфере достаточно можно решать уравнения диффузии соответствующими краевыми условиями.

Из кривых рис. 12-15 видно, что как влияет на перенос загрязняющих веществ в приземном слое атмосферы скорость воздушной массы атмосферы. С ростом скорости массы атмосферы процесс переноса загрязняющих веществ, происходит по направлению скорости ветра.

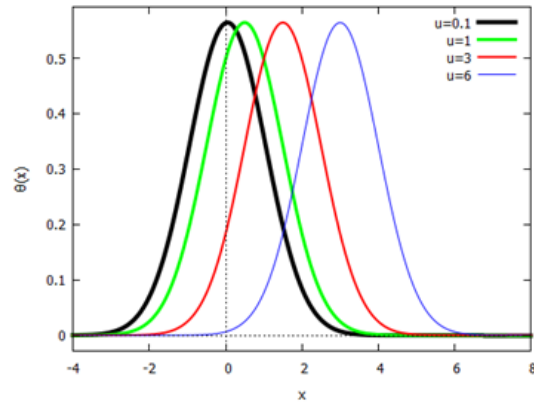


Рис. 12 Распределения $\theta(x, t)$ для различных скоростей U , при $\mu_x = 1$ и $t = 0.5$.

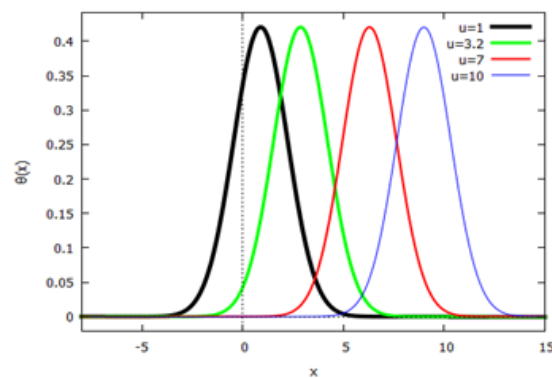


Рис. 13 Распределения $\theta(x, t)$ для различных скоростей U , при $\mu_x = 1$ и $t = 0.9$.

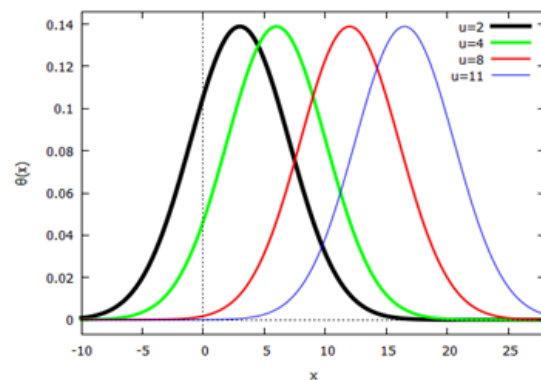


Рис. 14 Распределения $\theta(x, t)$ для различных скоростей U при $\mu_x = 5.5$ и $t = 1.5$

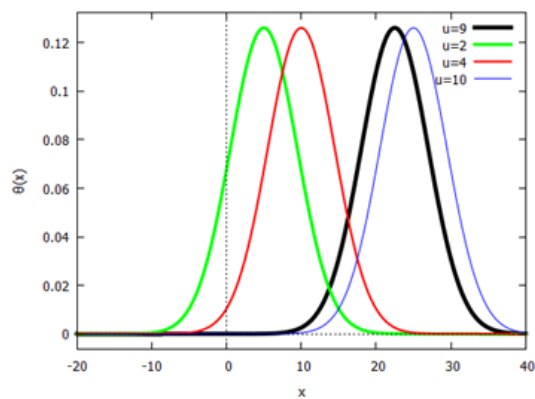


Рис. 15 Распределения $\theta(x, t)$ для различных скоростей U при $\mu_x = 4$ и $t = 2.5$.

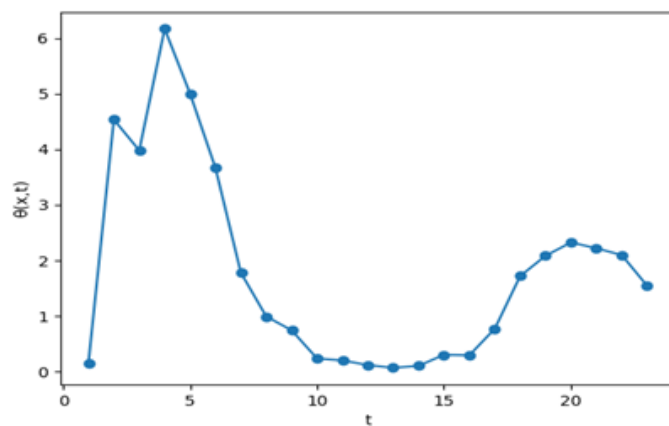


Рис. 16 Изменение концентрации вредных веществ в приземном слое в зависимости от реального изменения скорости ветра в сутке при мощности источника $M = 20$; $x = 20$ км.

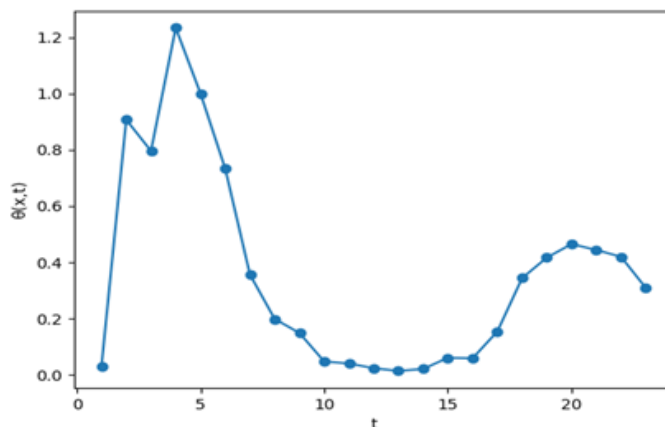


Рис. 17 Изменение концентрации вредных веществ в приземном слое в зависимости от реального изменения скорости ветра в сутке при мощности источника $M = 50$; $x = 20$ км.

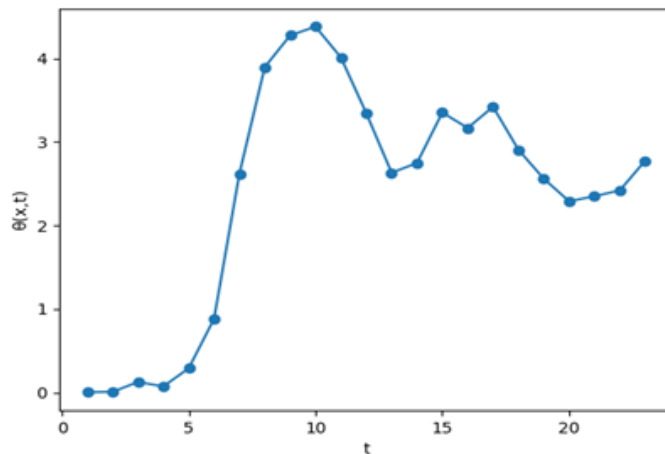


Рис. 18 Изменение концентрации вредных веществ в приземном слое в зависимости от реального изменения скорости ветра в сутке при мощности источника $M = 20$; $x = 20$ км.

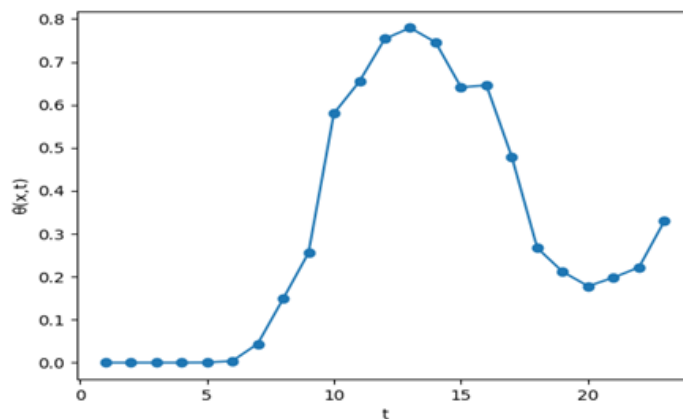


Рис. 19 Изменение концентрации вредных веществ в приземном слое в зависимости от реального изменения скорости ветра в сутке при мощности источника $M = 10$; $x = 20$ км.

На рис. 16-19 приведены результаты численных расчетов в зависимости от суточного изменения скорости потока воздушной массы атмосферы. Как видно из кривых рис. 16-19 концентрация загрязняющих веществ со временем изменяются в зависимости от реальных скоростей ветра и при увеличении скорости ветра концентрация загрязняющих веществ уменьшается, и наоборот, при уменьшении скорости ветра растет концентрация вокруг источника. Так как, динамика изменения скорости ветра в сутках, процесс переноса и диффузии загрязняющих веществ в атмосфере, соответственно, изменяется по-разному (рис. 16-19). Когда скорость ветра растет, концентрация загрязняющих веществ, пропорционально уменьшается в приземном слое атмосферы, а область за действия концентрация растет. Анализ численных расчетов показали, что с ростом мощности источника загрязняющих веществ, растет их концентрация в атмосфере, а при приближении скорости ветра к нулю (штиль) происходит накопление концентрации загрязняющих веществ вокруг источника. В таких случаях распространение загрязняющих веществ, происходит за счет диффузионного эффекта.

3 Выводы

Численными расчетами установлены, что при штиле процесс распространения загрязняющих веществ в атмосфере происходит за счет диффузионного переноса их в атмосфере. В таких случаях для прогнозирования загрязняющих веществ в атмосфере достаточно решать уравнения диффузии и им соответствующие краевые условия.

Проведенные вычислительные эксперименты показали, что с ростом мощности источника растет концентрация загрязняющих веществ вокруг источника с приближением скорости воздушного потока к нулю.

Концентрация загрязняющих веществ в приземном слое атмосферы со временем изменяется в зависимости от реальных скоростей ветра. При увеличении скорости ветра не наблюдается накопление концентрации загрязняющих веществ вокруг источника, а область распространения их со временем увеличивается.

Всесторонний анализ проведенных численных расчетов показало, что для моделирования процесса переноса и диффузии загрязняющих веществ, приземного слоя атмосферы на основе прогноза скоростей ветра по трем направлениям и орография рассматриваемого региона можно разработать математическую модель с учетом или без учета переноса субстанции. Когда скорость воздушной массы атмосферы превосходит критическое значение, можно рассмотреть распространение субстанции только за счет эффекта переноса их в атмосфере. При случаях, когда скорость ветра приближается к нулю, так как распространение загрязняющих веществ в приземном слое атмосферы происходит за счет диффузии, можно отбрасывать в уравнениях члены описывающие процесс переноса субстанции в атмосфере. Надо отметить, что воспользуясь данной методологией можно сократить время расчета и уменьшить число арифметических действий при решении поставленной задачи.

Литература

- [1] *Русакова Т.И.* Прогнозирование загрязнения воздушной среды от автотранспорта на улицах и в микрорайонах города // *Екологія на транспорті*. – Vol. 3489, № 48. – 2013. – С. 32–44.
- [2] *Беляев Н.Н., Славинская Э.С., Кириченко Р.В.* Численные модели для прогноза загрязнения атмосферного воздуха выбросами автотранспорта // *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту*. – Vol. 0, № 6(66). – 2016. – С. 25–32.
- [3] *Монин А.С., Обухов А.М.* Основные закономерности турбулентного перемешивания в приземном слое атмосферы // *Тр. Геофизин. АН*. № 24. – 1954. – С. 163–187.
- [4] *Лайхтман Д.Л.* Физика пограничного слоя атмосферы // – 1961. – 251 с.
- [5] *Алоян А.Е.* Математическое моделирование взаимодействий газовых примесей и аэрозолей в атмосферных дисперсных системах // *Вычислительная математика и математическое моделирование, Том 1, Москва*. – Vol. 1. – 2000. – С. 214–230.
- [6] *Степаненко С.Н., Волошин В.Г., Курьшина В.Ю., Агайар Е.В.* Определение высоты пограничного слоя атмосферы по наземным метеорологическим наблюдениям // *Sci. J. «ScienceRise» №7/1(24)*. – 2016. – С. 6–10.
- [7] *Aydosov A., Urmashev B., Zaurbekova G.* Modeling the spread of harmful substances in the atmosphere at a variable velocity profile // *De Gruyter Open*. – 2016. – С. 264–269.
- [8] *Тимофеева С.С., Ботиров Т.В., Мусаев М.Н., Бобоев А.А.* Математическая модель и мониторинг загрязнения приземного слоя атмосферы горнопромышленного региона // *J. Adv. Eng. Technol. Vol.2(4) 2021*. – 2021. – Vol. 2, № 4. – С. 3–9.

- [9] *Wei Lu, Tinghua Ai, Xiang Zhang Y.H.* An interactive web mapping visualization of urban air quality monitoring data of china Atmosphere (Basel). – 2017. – С. 3–16.
- [10] *Базарский О.В., Косинова И.И., Фонова С.И.* Математическая модель загрязнения приповерхностных отложений аэрозольными частицами. // Инженерные изыскания. – 2015. – С. 76–79.
- [11] *Шилицкий А.Г., Пицук Ю.В.* Влияние поверхностно активных веществ на смачиваемость сыпучих материалов. // Вісник КДУ імені Михайла Остроградського. Вип. 2/2010 (61), Частина 1. – 2010. – С. 117–119.
- [12] *Равшанов З.Н., Шарипов Д.К., Муродов Ф.* Математическая модель и вычислительный эксперимент для мониторинга и прогнозирования экологического состояния пограничного слоя атмосферы // Проблемы вычислительной и прикладной математики. – 2017. – С. 15–28.
- [13] *Шафиев Т.Р.* Математическая модель для мониторинга и прогнозирования процесса распространения аэрозольных частиц в атмосфере // Проблемы вычислительной и прикладной математики. – 2019.
- [14] *Ravshanov N. Shafiyev T.* Nonlinear mathematical model for monitoring and predicting the process of transfer and diffusion of fine-dispersed aerosol particles in the atmosphere / IOP Conf. Ser. J. Phys. Conf. Ser. – Vol. 1260. – 2019.
- [15] *Равшанов Н., Назаров Ш., Боборахимов Б.* Трехмерная модель процесс диффузии загрязняющегося вещества в неподвижной неограниченной среде Проблемы вычислительной и прикладной математики №2(40). – 2022. – Р. 161–174.
- [16] *Равшанов Н., Назаров Ш.Э., Расулмухаммедов А.* Исследование основных параметров процессе диффузии вредных веществ в атмосфере // Проблемы вычислительной и прикладной математики №2(40). – 2022. – Р. 174–194.

Поступила в редакцию 25.05.2022

UDC 004.4

MODEL AND ANALYTICAL SOLUTION OF PROBLEMS OF CONVECTIVE TRANSPORT AND DIFFUSION OF A POLLUTANT IN THE ATMOSPHERE

¹*Ravshanov N.*, ²*Nazarov Sh.*, ³*Boborakhimov B.*
ravshanzade-09@mail.ru, nazarov_shakhzod@mail.ru,
uzbekpy@gmail.com

¹Research Institute for the Development of Digital Technologies
and artificial intelligence,
100124, 17A Buz-2, Mirzo-Ulugbek district, Tashkent, Uzbekistan;

²Bukhara State University, 705018, 11 Muhammad Ikbol, Bukhara, Uzbekistan;

³Tashkent University of Information Technologies,
100200, 108, Amir Temur str., Tashkent, Uzbekistan;

Numerical calculations have established that during calm, the process of spreading pollutants in the atmosphere occurs due to their diffusion transfer in the atmosphere. In such cases, to predict pollutants in the atmosphere, it is sufficient to solve the diffusion equations and their corresponding boundary conditions.

The computational experiments carried out showed that with an increase in the power of the source, the concentration of pollutants around the source increases with the ap-

proach of the air flow velocity to zero. The concentration of pollutants in the surface layer of the atmosphere change over time depending on the actual wind speeds. With an increase in wind speed, there is no accumulation of concentrations of pollutants around the source, and their distribution area increases with time. A comprehensive analysis of the numerical calculations performed showed that in order to model the process of transfer and diffusion of pollutants in the surface layer of the atmosphere based on the forecast of wind speeds in three directions and the orography of the region under consideration, it is possible to develop a mathematical model with or without taking into account the transfer of substance.

Keywords: Mathematical model, analytical solution, process of diffusion of harmful substances, source power, concentration of pollutants, wind speed, numerical algorithm.

Citation: Ravshanov N., Nazarov Sh., Boborakhimov B. 2022. Model and analytical solution of problems of convective transport and diffusion of a pollutant in the atmosphere. *Problems of Computational and Applied Mathematics*. 3(41):34-47.