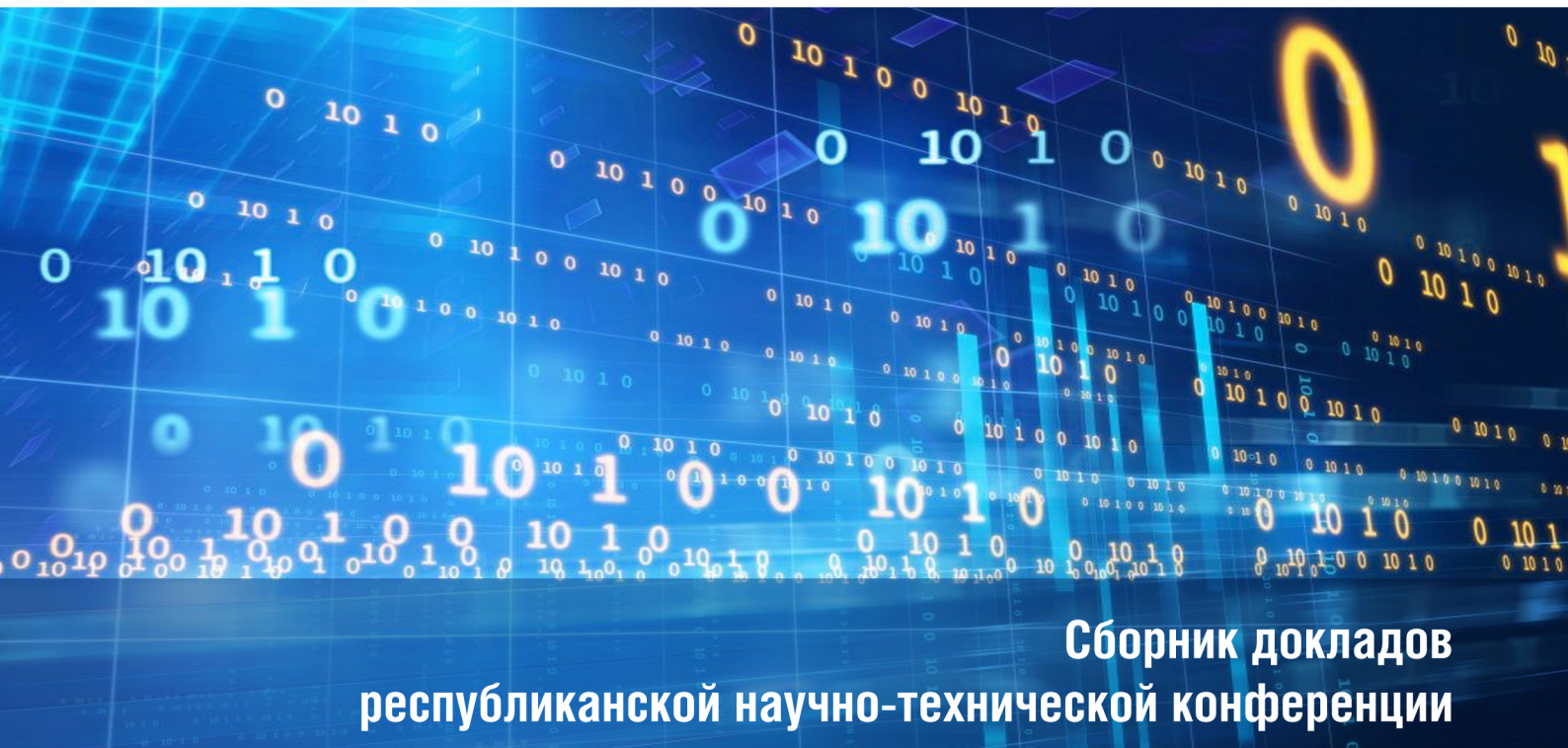


Академия наук
Республики Узбекистан

Министерство по развитию информационных
технологий и коммуникаций Республики Узбекистан

**НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ РАЗВИТИЯ
ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА**



**Сборник докладов
республиканской научно-технической конференции**

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В УПРАВЛЕНИИ

6-7 сентября 2021 г.

ТОМ 2

ТАШКЕНТ - 2021

Академия наук Республики Узбекистан

Министерство по развитию информационных технологий и коммуникаций
Республики Узбекистан

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ РАЗВИТИЯ
ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

**СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И
ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ
ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И
ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА
В УПРАВЛЕНИИ**

Доклады республиканской научно-технической конференции

Ташкент, 6-7 сентября 2021 г.

ТОМ 2

Ташкент – 2021

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ, ЧИСЛЕННЫЙ АЛГОРИТМ И ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ МОНИТОРИНГА И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРЕ

¹ Равшанов Н., ^{2*} Шафиев Т.Р., ² Бебутов Ф.У.

¹ Научно-исследовательский институт развития цифровых технологий и искусственного интеллекта,

² Бухарский государственный университет,

* *tursunshafiyev@gmail.com*

В работе рассматривается численное моделирование процесса переноса и диффузии загрязнителей воздуха в пограничном слое атмосферы. Разработана математическая модель распространения промышленных выбросов в атмосфере с учетом скорости перемещения мелкодисперсных частиц субстанции и ряда других факторов, влияющих на изменение концентрации вредных веществ в атмосфере. Модель описывается многомерными уравнениями в частных производных с соответствующими начальными и граничными условиями. Для численного интегрирования задачи использован метод физического расщепления по физическим факторам, а также неявная конечно-разностная схема со вторым порядком точности как по пространственным переменным, так и по времени. На основе предложенного математического аппарата, разработан программный комплекс для проведения вычислительных экспериментов на компьютере и комплексного исследования процесса переноса и диффузии вредных веществ в атмосфере.

1. Введение

Современная экономика все в большей мере истощает силы природы, все шире используется богатство природы для ускорения научно-технического прогресса. К сожалению, не всегда эти процессы дают положительные результаты для окружающей среды. Высокими темпами строятся заводы и фабрики, которые являются основным фактором экологических проблем. Именно антропогенные источники могут наносить природе невосполнимый ущерб. Причем основной угрозой выступает именно загрязнённая атмосфера. Поэтому, прогнозирование, мониторинг и оценка экологического состояния атмосферы, проектирование и размещение промышленных объектов с соблюдением санитарных норм являются первоочередными задачами в проблеме охраны окружающей среды.

Изучение статических данных по экологии показывает, что ухудшение экологии в атмосфере промышленных зон возникает в связи с

увеличением концентрации вредных веществ и загазованности атмосферы. Из этого следует, что актуальность математического моделирования процесса распространения вредных аэрозольных частиц очевидна, и она является одним из эффективных инструментов для комплексного исследования данной проблемы.

За последние годы учёными разработаны математические инструменты для исследования, прогнозирования и мониторинга экологического состояния промышленных регионов, которые основывается на – математическую модель, численного алгоритма и программного средства для проведения опытных вычислительных экспериментов на ЭВМ и получены значительные теоретические и прикладные результаты по выше указанной проблемой.

В частности работе [1] разработана математическая модель и программное обеспечение для системы оценки загрязнения атмосферного воздуха выбросами автомобильного транспорта. Разработанная математическая модель учитывает интенсивность транспортных потоков с учетом интенсивности движения автотранспорта по улицам города в заданное время суток, заданный день недели и заданный месяц, а также учитывает основные характеристики автотранспортных средств, особенности транспортных линий и модуляции транспортных потоков светофорами на межперекрестковых сегментах улиц.

Для оценки состояния прогнозирования экологического состояния окружающей среды с помощью математических моделей, вычислительных алгоритмов и программных средств сделано много научных исследований. Например, в работе авторов [2] рассматриваются актуальные проблемы, связанные с решением задач солепереноса в почве. Для изучения и прогнозирования процесса распространения вредных веществ были разработаны математическая модель и численный алгоритм проведения компьютерного эксперимента.

Проблема Аральского моря является очень проблематичной для населения Узбекистана и для территорий, граничащих с ним. В статье авторов [3, 4] проведено исследование этого аспекта для анализа экологической ситуации в Приаралье. Основная доля выбросов вредных веществ в регионе Аральского моря приходится на пыль, соли и токсичные химические вещества, уносимые с высохшего дна Аральского моря. Таким образом, при математическом моделировании процесса атмосферного рассеяния необходимо учитывать физико-механические свойства частиц и действующие на них основные силы.

В работе [5] исследована сопряженная математическая модель оптимального размещения промышленных объектов. Авторы для разработки адекватной математической модели процесса переноса и диффузии вредных веществ в атмосфере исследовали следующие факторы: эрозию почвы, которая при неустойчивой стратификации воздушной массы существенно изменяет концентрацию вредных веществ в атмосфере; скорости массового расхода атмосферного воздуха в трех направлениях во

времени; изменение коэффициента диффузии и коэффициента турбулентного перемешивания по вертикали при стабильной и нестабильной стратификации атмосферы; изменения направления ветра с течением времени и из-за орографии местности; и последнее изменение коэффициента взаимодействия, который зависит от характеристики подстилающей поверхности.

Проведённый анализ научных работ, связанных с проблемой математического моделирования процесса распространения и диффузии аэрозольных частиц в атмосфере показало, что при математическом моделировании и исследовании выше указанного процесса, не рассмотрено изменения скоростей перемещения частиц в атмосфере, которая изменяется со временем и в зависимости от физико-механических свойств рассматриваемого вещества.

2. Постановка задачи

С учетом сказанного, для исследования процесса переноса и диффузии аэрозольных частиц в атмосфере с учетом существенных параметров u_q, v_q, w_q составляющие скорости частиц по направлениям x, y, z соответственно, а также орографии рассматриваемой местности рассмотрим математическую модель, описывающую на основе закона гидромеханики с помощью многомерного дифференциального уравнения в частных производных [6, 7]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \theta}{\partial t} + u_q \frac{\partial (h\theta)}{\partial x} + v_q \frac{\partial (h\theta)}{\partial y} + w_q \frac{\partial (h\theta)}{\partial z} + \sigma h\theta = \\ = \mu \left(\frac{\partial^2 (h\theta)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 (h\theta)}{\partial y^2} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\kappa \frac{\partial (h\theta)}{\partial z} \right) + \delta Q; \end{aligned} \quad (1)$$

$$m \frac{du_q}{dt} = c_f \pi r^2 \rho_s (u_q - U)^2; \quad (2)$$

$$m \frac{dv_q}{dt} = c_f \pi r^2 \rho_s (v_q - U)^2; \quad (3)$$

$$m \frac{dw_q}{dt} = -\frac{4}{3} \pi r^3 (\rho_q - \rho_s) g - k_f \mu_s \pi r w_q + F_n \quad (4)$$

с соответствующими начальными

$$\theta|_{t=0} = \theta^0; \quad u_q|_{t=0} = u_q^0; \quad v_q|_{t=0} = v_q^0; \quad w_q|_{t=0} = w_q^0 \quad (5)$$

и граничными условиями

$$-\mu \frac{\partial h\theta}{\partial x} \Big|_{x=0} = \xi h(\theta_s - \theta); \quad \mu \frac{\partial h\theta}{\partial x} \Big|_{x=L_x} = \xi h(\theta_s - \theta); \quad (6)$$

$$-\mu \frac{\partial h\theta}{\partial y} \Big|_{y=0} = \xi h(\theta_s - \theta); \quad \mu \frac{\partial h\theta}{\partial y} \Big|_{y=L_y} = \xi h(\theta_s - \theta); \quad (7)$$

$$-k \frac{\partial h \theta}{\partial z} \Big|_{z=0} = \xi h (\beta \theta - Q_0); \quad k \frac{\partial \theta h}{\partial z} \Big|_{z=H} = \xi h (\theta_g - \theta). \quad (8)$$

Здесь $U = \sqrt{u^2 + v^2 + w^2}$ – скорость воздушного потока; t – время; x, y, z – координаты; θ – концентрация распространяющегося вещества; σ – коэффициент поглощения вредных веществ в атмосфере; μ – коэффициент диффузии; κ – коэффициент турбулентности; δ – функция Дирака; Q – мощность источников; θ^0 – первичная концентрация вредных веществ в атмосфере; m – масса частицы; c_f – коэффициент лобового сопротивления частиц; r – радиус частицы; ρ_g – плотность воздуха; ρ_c – плотность частиц; g – ускорения свободного падения; k_f – коэффициент формы тела для силы сопротивления; μ_g – вязкость воздуха; F_n – подъемная сила воздушного потока; β – коэффициент взаимодействия с подстилающей поверхностью; Q_0 – количество аэрозольных частиц оторвавшихся от шероховатости земной поверхности; ξ – коэффициент для проведения граничного условия к размерному виду; θ_g – концентрация взвешенных веществ в соседних областях решаемых задач.

3. Метод решения

Так как, поставленная задача (1)-(8) описывается многомерным нелинейным дифференциальным уравнением в частных производных с соответствующими начальными и краевыми условиями, то найти ее точное решение в аналитическом виде затруднительно.

Параметр для определения рельефа местности определяется при помощи соотношения [8]:

$$h = \begin{cases} 0 & \text{– если слой находится под землей;} \\ 1 & \text{– если слой находится в атмосфере;} \\ (\eta - z_{k-0,5}) / \Delta z & \text{– если слой находится под} \\ & \text{орографической поверхностью.} \end{cases}$$

Здесь η – высота возвышенности над плоскостью, параллельной уровню моря, а $\Delta z = z_{k+0,5} - z_{k-0,5}$. Для каждого слоя вводится множитель h ($0 \leq h \leq 1$), определяющий степень блокирования воздушного потока.

Из постановки задачи и уравнения (1) видно, что они описывают три физических процесса – перенос субстанции по направлению движения воздушной массы атмосферы, молекулярную диффузию субстанции в атмосфере и поглощение вредных веществ в атмосфере.

С учетом вышеуказанных обстоятельств, для решения задачи используем метод расщепления по физическим процессам на каждом временном слое. Поэтому для эффективного решения поставленной задачи

расщепим её по физическим процессами – на конвекционную часть, диффузионную часть и часть поглощения субстанции в атмосфере.

Метод расщепления по физическим процессам базируется на аппроксимации высоко порядка [9], обосновании аддитивности процессов для достаточно малых шагов по времени [10] и доказательстве суммарной аппроксимацией исходного уравнения вследствие расщепления. Общая теория расщепления полно изложено в [11], а особенности расщепления для задачи конвекции в прямоугольных областях и параллелепипедах в [12-14].

Для численного решения поставленной задачи (1)-(9) будем считать, что искомое решение – это гладкая функция во всем пространстве. Используя аддитивность принципиально различных физических процессов переноса и диффузии масс в атмосфере в малом интервале времени $t_n \leq t \leq t_{n+1}$, мы рассмотрим их как отдельные задачи.

Процесс переноса субстанции с ее сохранением вдоль траектории будем рассматривать как задачу А:

$$\frac{\partial \theta_1}{\partial t} + u_q \frac{\partial (h\theta_1)}{\partial x} + v_q \frac{\partial (h\theta_1)}{\partial y} + w_q \frac{\partial (h\theta_1)}{\partial z} = \frac{1}{3} \delta Q; \quad (9)$$

$$m \frac{du_q}{dt} = c_f \pi r^2 \rho_e (u_q - U)^2; \quad (10)$$

$$m \frac{dv_q}{dt} = c_f \pi r^2 \rho_e (v_q - U)^2; \quad (11)$$

$$m \frac{dw_q}{dt} = -\frac{4}{3} \pi r^3 (\rho_q - \rho_e) g - k_f \mu_e \pi r w_q + F_n; \quad (12)$$

с начальными

$$\theta_1|_{t=0} = \theta_3^n; \quad u_q|_{t=0} = u_q^0; \quad v_q|_{t=0} = v_q^0; \quad w_q|_{t=0} = w_q^0 \quad (13)$$

и граничными условиями

$$-\mu \frac{\partial (h\theta_1)}{\partial x} \Big|_{x=0} = \xi h (\theta_e - \theta_1); \quad \mu \frac{\partial (h\theta_1)}{\partial x} \Big|_{x=L_x} = \xi h (\theta_e - \theta_1); \quad (14)$$

$$-\mu \frac{\partial (h\theta_1)}{\partial x} \Big|_{x=0} = \xi h (\theta_e - \theta_1); \quad \mu \frac{\partial (h\theta_1)}{\partial x} \Big|_{x=L_x} = \xi h (\theta_e - \theta_1); \quad (15)$$

$$-\kappa \frac{\partial (h\theta_1)}{\partial z} \Big|_{z=0} = \xi h (\beta \theta_1 - Q_0); \quad \kappa \frac{\partial (h\theta_1)}{\partial z} \Big|_{z=H} = \xi h (\theta_e - \theta_1). \quad (16)$$

Процесс диффузии субстанции в атмосфере рассмотрим, как задачу

Б:

$$\frac{\partial \theta_2}{\partial t} = \mu \left(\frac{\partial^2 (h\theta_2)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 (h\theta_2)}{\partial y^2} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\kappa \frac{\partial (h\theta_2)}{\partial z} \right) + \frac{1}{3} \delta Q \quad (17)$$

с начальным

$$\theta_2^0 = \theta_1^{l+1} \quad (18)$$

и граничными условиями

$$-\mu \frac{\partial(h\theta_2)}{\partial x} \Big|_{x=0} = \xi h(\theta_6 - \theta_2); \quad \mu \frac{\partial(h\theta_2)}{\partial x} \Big|_{x=L_x} = \xi h(\theta_6 - \theta_2); \quad (19)$$

$$-\mu \frac{\partial(h\theta_2)}{\partial y} \Big|_{y=0} = \xi h(\theta_6 - \theta_2); \quad \mu \frac{\partial(h\theta_2)}{\partial y} \Big|_{y=L_y} = \xi h(\theta_6 - \theta_2); \quad (20)$$

$$-\kappa \frac{\partial(h\theta_2)}{\partial z} \Big|_{z=0} = \xi h(\beta\theta_2 - Q_0); \quad \kappa \frac{\partial(h\theta_2)}{\partial z} \Big|_{z=H} = \xi h(\theta_6 - \theta_2). \quad (21)$$

Процесс поглощения частиц в воздушной массе рассмотрим, как задачу **В**:

$$\frac{\partial\theta_3}{\partial t} + \sigma h\theta_3 = \frac{1}{3} \delta Q \quad (22)$$

с начальным

$$\theta_3^0 = \theta_2^{\gamma+1} \quad (23)$$

и граничными условиями

$$-\mu \frac{\partial(h\theta_3)}{\partial x} \Big|_{x=0} = \xi h(\theta_6 - \theta_3); \quad \mu \frac{\partial(h\theta_3)}{\partial x} \Big|_{x=L_x} = \xi h(\theta_6 - \theta_3); \quad (24)$$

$$-\mu \frac{\partial(h\theta_3)}{\partial y} \Big|_{y=0} = \xi h(\theta_6 - \theta_3); \quad \mu \frac{\partial(h\theta_3)}{\partial y} \Big|_{y=L_y} = \xi h(\theta_6 - \theta_3); \quad (25)$$

$$-\kappa \frac{\partial(h\theta_3)}{\partial z} \Big|_{z=0} = \xi h(\beta\theta_3 - Q_0); \quad \kappa \frac{\partial(h\theta_3)}{\partial z} \Big|_{z=L_z} = \xi h(\theta_6 - \theta_3). \quad (26)$$

Таким образом, после расщепления исходной задачи по физическим процессам получили три подзадачи (9)-(16), (17)-(21) и (22)-(26) которые можно решать независимо друг от друга конечно-разностным методом. Полный вид решения данной задачи переведен в наших работах [15, 16].

Для проведения вычислительных экспериментов на компьютере на основе разработанной математической модели и вычислительного алгоритма понадобится программно-инструментальный комплекс. С помощью данного программного комплекса можно имитировать исследуемый процесс в разных условиях: при неблагоприятных условиях погоды, разных значениях коэффициента поглощения вредных веществ, по разным физико-механическим свойствам частиц и т.д.

Также, разработанное программное обеспечение служит для решения прикладных задач, связанных с мониторингом и прогнозированием экологического состояния окружающей среды рассматриваемого региона и дает возможность оценить воздействие вредных веществ на экологическое состояние окружающей среды прилегающих к объекту территорий с учетом норм предельно-допустимой концентрации по каждому виду загрязняющих веществ.

В рамках данного исследования разработан объектно-ориентированный программно-инструментальный комплекс [17], включающий в себя ряд связанных программных средств, разработанных с

помощью современных, наиболее широко распространенных технологий, таких как Microsoft Visual Studio (язык C#), Фреймворки Microsoft .NET Framework 4.6.2, наборы библиотек визуализации Pnumerics и др.

Данное программное обеспечения позволяет осуществлять объектов мониторинг и прогнозирования процесса переноса и диффузии, выброшенных от промышленных объектов в атмосферу с учётом физико-механическими свойств частиц: масса, плотность, радиус, коэффициент лобового сопротивления, факторы окружающей среды: температура окружающей среды, плотность, вязкость воздуха и другие влияющие факторы в объект целом. Краткий вид схемы работы программного обеспечения показано в рис. 1.



Рис. 1. Краткий вид схемы работы программного обеспечения.

Проведения ВЭ на компьютере можно двумя способами, первое – это ввод всех параметров вручную для проведения ВЭ, второе, выбрать из программного интерфейса соответственно выбрать из данных СУБД. При ручном вводе параметров, нужно выводить следующие значения: скорость и направления ветра, начальные скорости рассматриваемого вредного вещества, мощность источника, коэффициент поглощения вредных веществ, начальная концентрация вредных веществ, коэффициент диффузии, размеры по координатам x, y, z , плотность и масса выбранного вредного вещества, коэффициент лобового сопротивления, плотность и вязкость воздуха и время вычисления. В втором способе можно выбрать из БД соответствующие параметры для проведения ВЭ на компьютере.

После выполнения ВЭ значения концентрации вредных веществ отобразятся в таблице. Выбрав нужную высоту, можно графически представить информацию или же отправить в файл Microsoft Excel для дальнейшего пользования.

4. Результаты

Численными расчетами установлено, что изменение концентрации аэрозолей в атмосфере существенно зависит от температуры окружающей среды. Этот параметр изменяется от времени года и суток. При изменении температуры окружающей среды изменяется влажность, вязкость и плотность воздуха. Поэтому максимальное поглощение вредных аэрозольных частиц в атмосфере характерно для утреннего и вечернего времени суток.

Из проведенных численных экспериментов установлено, что наиболее существенными параметрами, влияющими на распространение и накопление вредных аэрозольных частиц в атмосфере рассматриваемого региона, являются горизонтальная и вертикальная составляющие скорости рассматриваемых частиц, и их направление, а также скорость воздушного потока. Как можно было ожидать, при умеренном ветре (когда составляющие скорости ветра приближаются к нулю) происходит накопление концентрации вредных веществ вокруг источников выброса и изменение концентрации аэрозольных частиц в атмосфере в основном происходит за счет роста скорости осаждения частиц. Анализ проведенных численных расчетов показали, что при умеренном ветре распространения аэрозольных выбросов в атмосфере происходит за счет диффузионного перемешивания их в атмосфере.

Вычислительные эксперименты были проведены при условии, когда в атмосферу выбрасываются аэрозольные частицы с различными радиусами, что также играет существенную роль в процессе переноса и диффузии частиц. Так, из расчетов следует, что транспортировка аэрозольных частиц по вертикали в значительной мере зависит как от вертикальной составляющей скорости ветра, так и от физико-механических свойств частиц (радиуса, массы, плотности и др.).

Согласно анализу проведенных расчетов и их сравнению с реальными данными полевых измерений и результатами, полученными другими авторами, разработанные математическое и программное обеспечение в полной мере пригодны для решения задач мониторинга и прогнозирования загрязнения атмосферы в промышленных зонах, на территориях с неблагоприятной экологической ситуацией, а также для определения концентрации токсичных веществ в атмосферном воздухе и на подстилающей поверхности.

5. Выводы

Для решения задачи прогнозирования изменения концентрации вредных веществ в атмосфере реализован эффективный численный

алгоритм, основанный на методе физического расщепления по физическим факторам которая решается с помощью неявной конечно-разностной схемы.

Анализ численных расчетов, выполненных для мониторинга и прогнозирования процесса перемещения и диффузии вредных веществ, показал, что на область рассеивания вредных веществ в рассматриваемом регионе, существенно зависят от физико-механических свойств частиц, т.е. их плотности, массы, радиуса, формы, а также параметра орографии рассматриваемой местности.

Для комплексного исследования процесса переноса и диффузии вредных веществ в атмосфере был проведен численный эксперимент для оценки влияния температуры окружающей среды на распространения аэрозолей в атмосферном воздухе.

Проведёнными вычисленными экспериментами установлено, что при изменении температуры изменяется динамическая вязкость и плотность воздуха, тем самым эти параметры существенно влияют на поглощения вредных веществ в атмосфере.

Разработанное математическое и программное обеспечения позволяет осуществлять анализ, мониторинг и прогнозирования процесса переноса и диффузии вредных аэрозольных выбросов с учетом изменяющаяся скорости перемещения частиц соответственно, учитывая их физико-механические свойства.

Полученные результаты в виде математического программного обеспечения могут быть успешно использованы для оптимального размещения вновь построенных объектов в промышленных регионах; для оценки масштабов промышленных выбросов в окружающую среду; для оценки концентраций вредных веществ в атмосфере и на подстилающей поверхности с последующим принятием решений по минимизации рисков нарушения окружающей среды.

Список литературы

1. Шилин А.В. Разработка математического и программного обеспечения системы оценки загрязнения атмосферного воздуха выброса автомобильного транспорта : автореф. дис. ... канд. тех. наук. Рязан, 2005.
2. Aminov S. et al. Numerical Study of Salt-Transfer Process in Soils // Int. J. Adv. Trends Comput. Sci. Eng. 2020. Vol. 9, № 5. pp. 8469–8473.
3. Ravshanov N., Daliev S.K., Tagaev O. Numerical simulation of two aquarius horizons // Int. J. Adv. Trends Comput. Sci. Eng. 2020. Vol. 9, № 4. pp. 6549–6554.
4. Ravshanov N., Ravshanov Z., Bolnokin V.E. Modeling the salt-dust aerosols distribution in the atmosphere, taking into account the soil erosion // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Institute of Physics Publishing, 2020. Vol. 862, № 6. pp. 1–7.
5. Ravshanov Z., Abdullaeva B., Kubyashev K. Conjugated mathematical model for optimal location of industrial objects // IOP Conference

Series: Materials Science and Engineering. 2020.

6. Ravshanov N., Zafar A., Shafiyev T. Mathematical model and numerical algorithm to study the process of aerosol particles distribution in the atmosphere // International Conference on Information Science and Communications Technologies: Applications, Trends and Opportunities, ICISCT 2019. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2019.

7. Ravshanov N., Shafiev T.R. Nonlinear mathematical model for monitoring and predicting the process of transfer and diffusion of fine-dispersed aerosol particles in the atmosphere // J. Phys. Conf. Ser. 2019. Vol. 1260, № 10.

8. Sharipov D.K., Tashtemirova N., Narzullayeva N. Numerical modeling of the spread of harmful substances in the atmosphere taking into account terrain // Probl. Comput. Appl. Math. 2016. Vol. 1. pp. 60–72.

9. Яненко Н.Н. Метод дробных шагов решения многомерных задач математической физики. изд. «Наука», 1967. – 196 с.

10. Самарский А.А. О принципе аддитивности для построения экономических разностных схем // Докл. АН СССР. 1965. Vol. 165, № 6. P. 226–232.

11. Марчук Г.И. Методы расщепления. М: Наука, –1988. – 263 с.

12. Воеводин А.Ф., Гончарова О.Н. Метод расчета двумерных задач конвекции на основе расщепления по физическим процессам // Вычислительные технологии. 2002. Vol. 7, № 1. С. 69–75.

13. Гончарова О.Н. Метод расщепления по физическим процессам для расчета трехмерных задач конвекции // Известия Алтайского государственного университета. 2007. № 1. С. 39–44.

14. Ravshanov N., Muradov F.A., Akhmedov D. Operator splitting method for numerical solving the atmospheric pollutant dispersion problem // Journal of Physics: Conference Series, Volume 1441, XIII International Scientific and Technical Conference “Applied Mechanics and Systems Dynamics.” Omsk, 2019. pp. 5–7.

15. Shafiev T. et al. Nonlinear mathematical model and numerical algorithm for monitoring and predicting the concentration of harmful substances in the atmosphere // E3S Web Conf. 2021. Vol. 264, № 01021. pp. 1–12.

16. Ravshanov N., Shafiev T.R. Numerical study process distribution of contaminated substances in the atmosphere taking into account the physical and mechanical properties of particles // Bull. TUIT Manag. Commun. Technol. 2021. Vol. 4, № 2(46). pp. 10–15.

17. Шафиев Т.Р., Атаева Г.И., Суюнов М.М. Математическая модель, эффективный численный алгоритм и программный комплекс для мониторинга и прогнозирования концентрации вредных веществ в атмосфере с учётом физико-механических свойств частиц // Muhammad al-Xorazmiy avlodlari. 2021. № 1(15). С. 126–130.

<i>Назаров Х.Н. Рахимов Т.О.</i>	
Особенности структур многокоординатных мехатронных модулей интеллектуальных роботов	266-274
<i>Равшанов Н., Ахмедов Д.Д., Боборахимов Б.И.</i>	
Алгоритм консолидации метеорологических и пространственных данных из открытых веб-служб и репозиториев	275-282
<i>Рустамов Н.Т., Салихова Г.Х., Рустамов Е.Н.</i>	
Моделирование некоторые свойства психики человека	283-291
<i>Сайдалиева М., Хидирова М.Б.</i>	
Математическое моделирование регуляторики взаимосвязанного функционирования клеток иммунной системы человека и коронавирусов	292-298
<i>Хужаев И.К., Аминов Х.Х.</i>	
Математическая модель задачи о транспортировке газа в газопроводах с переменным диаметром	299-306
<i>Севинов Ж.У., Боева О.Х.</i>	
Алгоритмы определения размещения полюсов в многомерных системах с пропорционально-дифференциальной обратной связью по выходу	307-314
<i>Равшанов Н., Шафиев Т.Р., Бебутов Ф.У.</i>	
Математическая модель, численный алгоритм и программный комплекс для мониторинга и прогнозирования концентрации вредных веществ в атмосфере	315-324
<i>Сайдалиева М., Хидирова М.Б.</i>	
Метод математического моделирования регуляторики органов и тканей организма на клеточном уровне	325-334
<i>Хужаев И.К., Мамадалиев Х.А., Ахмаджонов С.С.</i>	
Метод решения нелинейных уравнений бегущих волн и аспекты его использования в развитие исследований трубопроводного транспорта реальных газов	335-344