

MUHAMMAD AL-XORAZMIY NOMIDAGI TOSHKENT AXBOROT TEXNOLOGIYALARI UNIVERSITETI

MUHAMMAD AL-XORAZMIY AVLODLARI
ILMIY-AMALIY VA AXBOROT-TAHLILIIY JURNAL

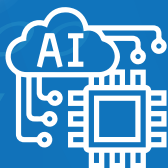
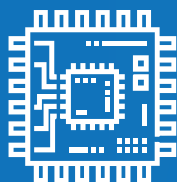
DESCENDANTS OF MUHAMMAD AL-KHWARIZMI
SCIENTIFIC-PRACTICAL AND INFORMATION-ANALYTICAL JOURNAL



1(15)/2021



ISSN-2181-9211



МУҲАММАД АЛ-ХОРАЗМИЙ АВЛОДЛАРИ

Илмий-амалий ва ахборот-таҳлилий журнал
2017 йилда таъсис этилган

1(15)/2021

Таҳририят кенгаши аъзолари	МУНДАРИЖА	
Бабаходжаев С.Н. – Муҳаммад ал-Хоразмий номидаги Тошкент ахборот технологиялари университети (ТАТУ) ректори, Таҳририят кенгаши раиси	<p style="text-align: center;">ДАСТУРИЙ ВА КОМПЬЮТЕР ИНЖИНИРИНГ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИНИНГ ЗАМОНАВИЙ МУАММОЛАРИ</p> <p>Зайнидинов Х.Н., Маллаев О.У., Қўчқаров М.А. Сплайн-усули ёрдамида харорат майдонларини моделлаштиришнинг параллел алгоритми. 3</p> <p>Akmuradov B.U. Nutq sintezatorining o‘zbek tili lotin alifbosidagi elektron matn elementlarini tahrirlash algoritmi 8</p> <p>Маллаев О.У., Дехконбоев И.Т. Тест саволларини интеллектуал шакллантириш алгоритми (дастурлаш тиллари мисолида) 17</p> <p>Исмаилов М.А., Рахимбоев Х.Ж., Хужаев О.К. Разработка алгоритма поддержки принятия решений в органах самоуправления с применением машинного обучения 20</p> <p>Мелиев Ф.Ф., Зайнидинов Х.Н., Жураев Ж.У. Функцияни Хаар ва Добеши вейвлетлари ёрдамида интерполяциялаш 24</p> <p>Mo‘minov B.B., Alisherov F.A., Iskandarov S.Q. Katta hajmdagi ma’lumotlar massivini qayta ishlashda amallarni parallel bajarish samaradorligini baholash 29</p> <p>Akbaraliyev B.B., Ruzibaev O.B., Ismoilov A.I., Faxriddinov B.F. Parallel implementation decomposition of the SVM method using fuzzy c-means algorithm 33</p> <p>Усмонов Ж. Т. Показатели эффективности и критерии оценки деятельности таможенных постов 37</p> <p>Ахмедова О.П., Мардиев У.Р., Ортиқбоев А.М. Криптографик калитларни тақсимлаш усуллари ва схемалари 42</p> <p>Хидирова М.Б., Исроилов Ш.Ю. Математическое моделирование регуляторики глиомы 47</p> <p>Тошев С.К. Компьютер тармоқлари орқали амалга оширилувчи хужумларни аниқлаш ва уларни бартараф этиш тизимларининг қиёсий таҳлили 53</p> <p style="text-align: center;">ОПТИК АЛОҚА ТИЗИМЛАРИ, ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЯ ТАРМОҚЛАРИ ВА КОММУТАЦИЯ ТИЗИМЛАРИНИНГ РИВОЖЛАНИШ ТАМОЙИЛЛАРИ</p> <p>Isayev R.I., Sherjanova K.S., G‘aniyev A.E. IMS tizim osti platformasining transport sathi elementlari bilan signal almashinuvini ta’minlash uchun zarur bo‘lgan transport resursini hisoblash 57</p> <p>Назаров А.М., Хасанов М.М., Очилов Б.Х. Шудринг нуктаси усулига асосланган оптик толали сенсорни тадқиқ этиш 61</p> <p>Эшмуратов А.М., Хайтбаев А.Ф. Симсиз сенсор тармоқларининг самарадорлик кўрсаткичларини баҳолаш модели 65</p> <p>Хасанов М.М., Юсупов Я.Т. Оптик толали сенсорларнинг индустриал ва интеллектуал структураларда қўлланиши 72</p>	
Садуллаева Ш.А. – ТАТУ ўқув ишлари бўйича биринчи проректор, Таҳририят кенгаши раиси ўринбосари		
Ташев К.А. – ТАТУ илмий ишлар ва инновациялар бўйича проректори, Таҳрир кенгаши раиси ўринбосари		
Носиров Х.Х. Рахимов Б.Н. – Ph.D., доц. бош муҳаррир – т.ф.д., проф. бош муҳаррир ўринбосари		
Муҳаррирлар:		
Камилов М.М. – т.ф.д., проф., акад.		
Мусаев М.М. – т.ф.д., проф.		
Арипов Х.К. – ф.-м.ф.д., проф.		
Нишонбоев Т.Н. – т.ф.д., проф.		
Абдурахмонов К.П. – ф.-м.ф.д., проф.		
Ганиев С.К. – т.ф.д., проф.		
Жуманов Ж.Х. – т.ф.д., проф.		
Мухамедиева Д.Т. – т.ф.д., проф.		
Туляганов А.А. – т.ф.н., проф.		
Исаев Р.И. – т.ф.н., проф.		
Юсупов А. – ф.-м.ф.д., проф.		
Якубова М.З. – академик (Қозоғистон)		
Халиков А.А. – т.ф.д., проф. (ТГЙТМИ)		
Назаров А.М. – т.ф.д., проф. (ТДТУ)		
Рахимов Н.Р. – профессор (Россия)		
Жмуд В.А. – профессор (Россия)		
Miroslav Skoric – профессор (Австрия)		
Dzhurakhalov A. – профессор (Белгия)		
Abrarov S.M. – профессор (Канада)		
Siddikov V. – профессор (АҚШ)		
Куамаква К. – профессор (Австрия)		
Chedjou J.Ch. – профессор (Австрия)		
Давронбеков Д.А. – т.ф.д., доц.		
Анарова Ш.А. – т.ф.д., доц.		
Писецкий Ю.В. – т.ф.д., доц.		
Нишонов А.Х. – т.ф.д., доц.		
Муминов Б.Б. – т.ф.д., доц.		
Рахимов Н.О. – т.ф.д., доц. (ЎЗМУЖФ)		
Керимов К.Ф. – т.ф.д., доц.		
Гаврилов И.А. – т.ф.н., доц.		
Губенко В.А. – т.ф.н., доц.		
Амирсаидов У.Б. – т.ф.н., доц.		
Тўраев Ш.Ш. – и.ф.н., доц.		
Шахобиддинов А.Ш. – Ph.D		
Мадаминов Х.Х. – Ph.D		
Яхшибаев Д.С. – Ph.D, доц.		
Мирсағдиев О.А. – Ph.D, доц		
Пузий А.Н. – Ph.D		
Бердиев А.А. – бош муҳаррир ёрдамчиси		
Араббоев М.М. – техник муҳаррир		

Муассис:

*Муҳаммад ал-Хоразмий номидаги
Тошкент ахборот технологиялари
университети*

Манзил:

*100084, Ўзбекистон, Тошкент ш., Амир
Темур кўчаси, 108*

Телефон: 71 238-64-38;

e-mail: alxorazmiy@tui.uz

Журнал сайти: <http://alxorazmiy.uz>

Босишга рухсат этилди:

Қозғоз бичими 60x84 1/8

Босма табағи 15,5. Адади 100 нусха

Буюртма рақами №195 “Фан ва технологиялар

Марказининг босмахонаси”да чоп этилди

Тошкент шаҳри Олмазор кўчаси, 171.

*Журнал Ўзбекистон Матбуот ва ахборот
агентлигида 2017 йил 22 июнда 0921 рақами*

билан рўйхатдан ўтган.

Журнал йилда 4 мартаба

(ҳар чоракда) чоп этилади

ISBN 978–9943–11–665–8

**Рахимов Т.Г., Рахимов Б.Н., Мирсагдиев О.А.,
Бердиев А.А., Батгалова А.В.** Разработка модели
радиомониторинга состояния земного грунта на основе
ВОИС 77

**РАҚАМЛИ ТЕЛЕВИДИЕНИЕ ВА РАДИОЭШИТТИРИШ,
СИМСИЗ ТЕХНОЛОГИЯЛАР ВА РАДИОТЕХНИКАНИ
РИВОЖЛАНТИРИШ ИСТИҚБОЛЛАРИ**

**Saraev M., Turakulov O., Sattarov Kh.,
Abdumalikov A.** Modeling and research of reliability and
probability of operational parameters of control units 82

Джабборова М. Анализ изменения радиуса зоны охвата
модернизированного телевизионного передатчика с
учетом дополнительной защищенности принимаемого
сигнала 87

Саитов А.А., Курбанов Ж.Ф., Сагтаров Х.А.
Харакат таркиби гилдиракларини аниқлашда нуктали
тизимларнинг истиқболи 91

**Вотинов К.А., Цырельчук И.Н., Писецкий Ю.В.,
Маматова Н.М.** Основы построения системы контроля
функционирования радиоэлектронной аппаратуры 94

Абидова Н.Б. Дусенов Э.А. Обзор способов
обнаружения и противодействия беспилотным
летательным аппаратам 98

Aliev U., Sultonova M., Yo'ldoshev T.
Energy harvesting from RF signal 101

**“ЭЛЕКТРОН ҲУКУМАТ” ТИЗИМИНИНГ
РИВОЖЛАНИШ ИСТИҚБОЛЛАРИ**

Абдуллаев Б.С., Якубов Н.А., Писецкий Ю.В.
Принципы построения системы межведомственного
электронного взаимодействия в образовательной сфере 105

**Нишанов А.Х., Бабаджанов Э.С., Саидрасулов Ш.Н.,
Кенжаев Х.Б.** Электрон мурожаатларни қайта ишлаш ва
электрон хизматлар самарадолигини ошириши
масалалари 109

ИЛМИЙ АХБОРОТЛАР

**Kh.Kh. Nosirov, M.M. Arabboev, Sh.A. Begmatov,
J.D. Khudayberganov.** Development of human detection
algorithm used in search and rescue operations 114

Karimov U.U, Nabiyeu I.Sh.
Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot
texnologiyalari universitetida milliy xususiyatlarni hisobga
olgan holda ta'limning kredit tizimini joriy etish 119

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 126

Закиров В.М., Мирсагдиев О.А.
Темир йўлда транспортда хизмат кўрсатиш жараёни
сифат кўрсаткичларини аниқлашнинг математик
моделини ишлаб чиқиш 131

Tursunov M.S., Qarshiyev A.B., Karimov S.A.
O'zbek tili korpusining dasturiy ta'minotini yaratishning
dastlabki natijalari 134

Сайдиакбаров С.М.
Булутли “виртуал иш жойи (DAAS)” хизмати сифати 138

УДК 519.6:504.06

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

В статье рассматривается численное моделирование процесс переноса и диффузии загрязнителей воздуха в пограничном слое атмосферы. Разработана математическая модель распространения промышленных выбросов в атмосфере с учетом скорости перемещения мелкодисперсных субстанции и ряд 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, использовано метод расщепления по физическим процессам (перенос, диффузия и поглощение), а также неявно конечно-разностная схема второго порядка аппроксимации как по пространственным переменным, так и по времени.

В работе для проведения вычислительного эксперимента на ЭВМ и комплексного исследования процесс переноса и диффузии вредных веществ в атмосфере, разработано программное средство.

Ключевые слова: математическая модель, перенос и диффузия вредных веществ, физическое расщепления, численный алгоритм

Современная экономика стран все большей меры истощает силы природы, все шире используется эти силы, богатство природы для ускорения научно-технического прогресса. Конечно, не всегда это процессы проносят положительные результаты. Большими темпами строятся заводы и фабрики, которыми являются основным фактором экологической проблемы - антропогенные источники. Именно антропогенные источники может нанести природе невосполнимый ущерб, и основная угрозой для него является именно загрязнённая атмосфера. Поэтому, прогнозирования, мониторинг и оценка экологического состояния атмосферы, проектирования и размещения промышленных объектов с соблюдением санитарных норм является первоочередной задачей в проблеме охране окружающей среды.

Изучения 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 один из эффективных инструментов для комплексного исследования выше указанной 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 программная обеспечения для системы оценки загрязнения атмосферного воздуха выброса автомобильного транспорта. Разработанная математическая модель учитывает интенсивность транспортных потоков, отличающаяся учетом интенсивности движения автотранспорта по улицам города в заданное время суток в заданный день недели заданного месяца, 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 модели, вычислительными алгоритмами и программными комплексами сделано много научных исследований. На пример в работе авторов [2] рассматриваются актуальные проблемы, связанные с решением проблем солепереноса в почве. Он посвящен численному моделированию процессов солепереноса и диффузии в почве. Для изучения и прогнозирования процесса распространения вредных веществ были разработаны математическая модель и численный алгоритм проведения компьютерного эксперимента.

Проблема Аральского море является очень проблематичном для населения Узбекистана и для территорий, граничащих с ним. В статье авторов [3], [4] проведено исследование этого аспекта для анализа экологической ситуации в Приаралье Узбекистана. 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] исследован 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; изменение 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 показал, 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.

Постановка задачи. С учетом выше сказанной для исследования процесса переноса и диффузии аэрозольных частиц в атмосфере с учетом существенных параметров u_p, v_p, w_p составляющие скорости частиц по направлениям x, y, z соответственно рассмотрим математическую модель, описывающую на основе закона гидромеханики с помощью многомерного дифференциального уравнения в частных производных [6], [7]:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} + u_p \frac{\partial \theta}{\partial x} + v_p \frac{\partial \theta}{\partial y} + w_p \frac{\partial \theta}{\partial z} + \sigma \theta =$$

$$= \mu \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\kappa \frac{\partial \theta}{\partial z} \right) + \delta Q; \quad (1)$$

$$m \frac{du_p}{dt} = c_f \pi r^2 \rho_a (u_p - U)^2; \quad (2)$$

$$m \frac{dv_p}{dt} = c_f \pi r^2 \rho_a (v_p - U)^2; \quad (3)$$

$$m \frac{dw_p}{dt} = -\frac{4}{3} \pi r^3 (\rho_p - \rho_a) g - k_f \mu_a \pi r w_p + F_n \quad (4)$$

с соответствующими начальными

$$\theta(x, y, z, 0) = \theta^0(x, y, z), \quad \tilde{u} = u(0), \quad (5)$$

$$\tilde{v} = v(0), \quad \tilde{w} = w(0), \quad \text{при } t = 0$$

и граничными условиями

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

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

$$-\kappa \frac{\partial \theta}{\partial z} \Big|_{z=0} = (\beta \theta - F_0); \quad \kappa \frac{\partial \theta}{\partial z} \Big|_{z=H} = \xi (\theta_e - \theta); \quad (8)$$

$$\text{где } U = \sqrt{\tilde{u}^2 + \tilde{v}^2 + \tilde{w}^2}.$$

Здесь 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_a – плотность воздуха; ρ_p – плотность частиц; g – ускорения свободного падения; k_f – коэффициент формы тела для силы сопротивления; μ_a – вязкость воздуха; F_n – подъёмная сила воздушного потока; β – коэффициент взаимодействия с подстилающей поверхностью; F_0 – количество аэрозольных частиц оторвавшихся от

шероховатости земной поверхности; ξ – коэффициент для проведения граничного условия к размерному виду; θ_e – концентрация взвешенных веществ в соседних областях решаемых задач.

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.

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

Учитывая 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 [8], обосновании аддитивность процессов для достаточно малых шагов по времени [9] и доказательстве суммарной аппроксимацией исходного уравнения вследствие расщепления. Общая теория расщепления полно изложено в [10], а особенности расщепления для задачи конвекции в прямоугольных областях и параллелепипедах в [11]–[13].

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:

$$\frac{\partial \theta_1}{\partial t} + u_p \frac{\partial \theta_1}{\partial x} + v_p \frac{\partial \theta_1}{\partial y} + w_p \frac{\partial \theta_1}{\partial z} = \frac{1}{3} \delta Q; \quad (9)$$

$$m \frac{du_p}{dt} = c_f \pi r^2 \rho_a (u_p - U)^2; \quad (10)$$

$$m \frac{dv_p}{dt} = c_f \pi r^2 \rho_a (v_p - U)^2; \quad (11)$$

$$m \frac{dw_p}{dt} = -\frac{4}{3} \pi r^3 (\rho_p - \rho_a) g - k_f \mu_a \pi r w_p + F_n \quad (12)$$

с начальными

$$\theta(x, y, z, 0) = \theta^0(x, y, z), \quad u_q(0) = u_q^0, \quad (13)$$

$$v_q(0) = v_q^0, \quad w_q(0) = w_q^0, \quad \text{при } t = 0$$

и граничными условиями

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

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

$$-\kappa \frac{\partial \theta_1}{\partial z} \Big|_{z=0} = (\beta \theta_1 - F_0); \quad \kappa \frac{\partial \theta_1}{\partial z} \Big|_{z=H} = \xi (\theta_e - \theta_1). \quad (16)$$

Процесс диффузии субстанции в атмосфере рассмотрим, как задачу В:

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

с начальным

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

и граничными условиями

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

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

$$-\kappa \frac{\partial \theta_2}{\partial z} \Big|_{z=0} = \beta \theta_2 - F_0; \quad \kappa \frac{\partial \theta_2}{\partial z} \Big|_{z=H} = \xi (\theta_e - \theta_2). \quad (21)$$

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

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

с начальным

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

и граничными условиями

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

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

$$-\kappa \frac{\partial \theta_3}{\partial z} \Big|_{z=0} = (\beta \theta_3 - F_0); \quad \kappa \frac{\partial \theta_3}{\partial z} \Big|_{z=H} = \xi (\theta_e - \theta_3). \quad (26)$$

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 переведено в наших работах [14].

Для проведения вычислительных экспериментов на компьютере на основе разработанного 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 оценки воздействия 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, 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 обеспечение 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.

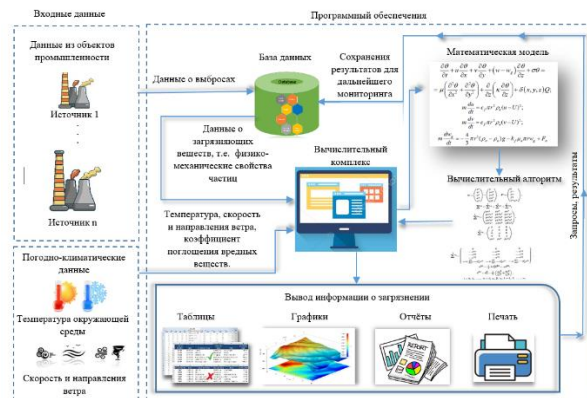


Рис. 1. Краткий вид схемы работы программного обеспечения.

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.

Обсуждения результатов

При расчетах принимали следующие входные параметры: скорость ветра 4 м/с, начальные значения скорости частиц: $u_v(0) = 3$ м/с, $v_v(0) = 1,5$ м/с, $w_v(0) = 0,5$ м/с, угол ветра 90° ; время расчёта $t=10$ час, размеры области решения задачи – 21×21 км, при этом источник эмиссии располагается в центре области; высота устья выбросной трубы – 100 м над поверхностью земли; мощность источника – 10 мг/м^3 .

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.

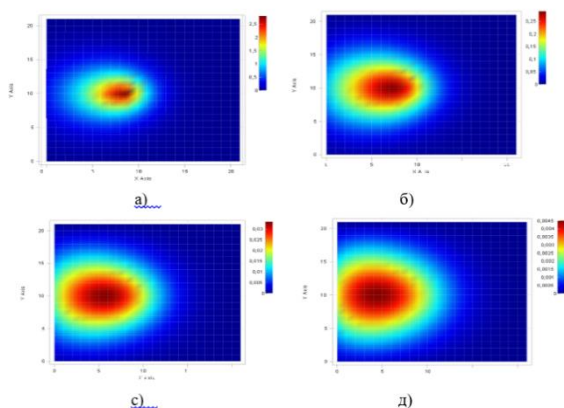


Рис. 2 Визуализация процесса переноса и диффузии вредного вещества Оксид азота в атмосфере: а) $z=200$ м; б) $z=300$ м; в) $z=400$ м; д) $z=500$ м;

Из проведенных численных экспериментов видно, 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.

Анализируя результатов из рис. 2-3 можно сказать, что масса вредного вещества значительно воздействует на процесс переноса и диффузии их в атмосфере.

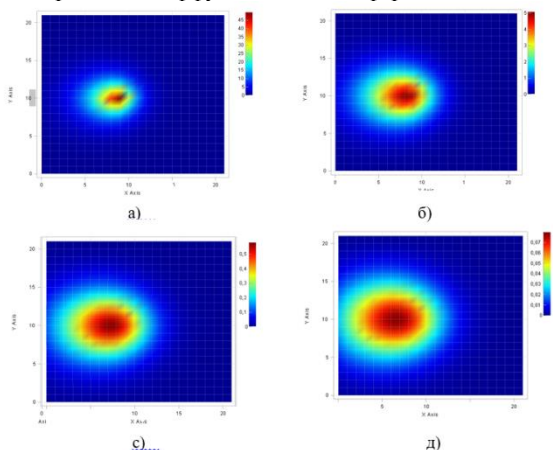


Рис. 3 Визуализация процесса переноса и диффузии вредного вещества Оксид серы(IV) в атмосфере: а) $z=200$ м; б) $z=300$ м; в) $z=400$ м; д) $z=500$ м;

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 пригодно 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.

Заключения

Для решения задачи прогнозирования изменения концентрации вредных веществ в атмосфере реализован эффективный численный алгоритм, основанный на методе 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 и других свойств.

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 обеспечение 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.

Использованная литература

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., Rajabov N., Azamov T., Ravshanov Z. Numerical Study of Salt-Transfer Process in Soils // International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering. 2020. № 5(9). С. 8469–8473.
3. Ravshanov N., Daliev S.K., Tagaev O. Numerical simulation of two aquarius horizons // International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering. 2020. № 4(9). С. 6549–6554. DOI:10.30534/ijatcse/2020/343942020.
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. 2020. № 6(862).

DOI:10.1088/1757-899X/862/6/062004.

5. Ravshanov Z., Abdullaeva B., Kubyshev K. Conjugated mathematical model for optimal location of industrial objects // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. DOI:10.1088/1757-899X/896/1/012071.

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. 2019. DOI:10.1109/ICISCT47635.2019.9011878.

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 // Journal of Physics: Conference Series. 2019. № 10(1260). DOI:10.1088/1742-6596/1260/10/102013.

8. Яненко Н.Н. Метод дробных шагов решения многомерных задач математической физики изд. «Наука», 1967.

9. Самарский А.А. О принципе аддитивности для построения экономичных разностных схем // Докл. АН СССР. 1965. № 6(165). С. 226–232.

10. Марчук Г.И. Методы расщепления. М: Наука, 1988.

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

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

13. 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.” 2019. С. 5–7.

14. Равшанов Н., Мурадов Ф.А., Шафиев Т.. Математическая модель и эффективный численный

алгоритм для мониторинга и прогнозирования концентрации вредных веществ в атмосфере с учётом физико-механических свойств частиц // Проблемы вычислительной и прикладной математики. 2020. (5). С. 1–22.

Шафиев Турсун Рустамович

Базовый докторант кафедры «Прикладная математика и технологии программирования» Бухарского государственного университета;

Эл. почта: tursunshafiyev@gmail.com

Атаева Гулсина Исраиловна

Старший преподаватель кафедры «Информационные технологии» Бухарского государственного университета;

Эл. почта: evrikiy@list.ru

Суюнов Музаффар

Магистр кафедры «Мультимедийные технологии» Ташкентский университета информационных технологий имени Мухаммада ал-Хоразмий

Эл. почта: muzaffars170795@gmail.com

The article deals with the numerical modeling of the process of transport and diffusion of air pollutants in the boundary layer of the atmosphere. A mathematical model of the spread of industrial emissions in the atmosphere has been developed, taking into account the speed of movement of finely dispersed substances and a number of other factors affecting the change in the concentration of harmful substances in the atmosphere. The model is described by multidimensional partial differential equations with appropriate initial and boundary conditions. For the numerical integration of the problem, the method of splitting into physical processes (transfer, diffusion and absorption) was used, as well as an implicit finite-difference scheme of the second order of approximation both in spatial variables and in time

Key words: mathematical model, transport and diffusion of harmful substances, physical splitting, numerical algorithm.