

УДК 519.6

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПО ОЦЕНКЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЮ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЫБРОСОВ В АТМОСФЕРНОМ БАССЕЙНЕ ТАШКЕНТСКОЙ ОБЛАСТИ

**Равшанов Н., Набиева И.*

*ravshanzade-09@mail.ru

Научно-исследовательский институт развития цифровых технологий и искусственного интеллекта,

100125, Узбекистан, Ташкент, м-в. Буз-2, 17А.

На основе разработанного математического обеспечения, в данной работе приведены результаты численных расчетов по задаче мониторинга и прогнозирования концентрации промышленных выбросов загрязняющих веществ (CO_2 , пыли, аммиака) в городе Чирчик и Ташкентской области, выполненные при учете скоростей ветра на различных уровнях по высоте, а также устойчивой, неустойчивой и безразличной стратификации атмосферы над рассматриваемым регионом. Оценка распределения поля концентрации на различных высотах осуществлялась для каждого загрязняющего вещества. Также анализировалось влияние скорости ветра на превышение предельно допустимой нормы концентрации вещества, и наоборот – на характер и скорость рассеивания вредных выбросов в приземной слое атмосферы. Численными расчетами установлены, диапазоны скоростей ветра при которых наблюдаются благоприятные условия (унос и рассеивание выбросов) для г. Чирчика, а также неблагоприятные условия, когда образуются устойчивые области загрязнения воздушного бассейна над городом и над территорией Ташкентской области в целом.

Ключевые слова: скорость ветра, концентрация загрязнений, мониторинг, атмосфера, Чирчик.

Цитирование: *Равшанов Н., Набиева И.* Вычислительные эксперименты по оценке и прогнозированию распространения промышленных выбросов в атмосферном бассейне Ташкентской области // Проблемы вычислительной и прикладной математики. – 2024. – № 4(58). – С. 48-68.

1 Введение

На сегодняшний день проблемы, связанные с предотвращением распространения вредных веществ в атмосфере, являются крайне актуальными, и для их решения требуется обработка больших объемов данных. В этом процессе мы используем математические модели и вычислительные методы.

Основные загрязнители:

Двуокись углерода (CO_2) — или углекислый газ, — бесцветный газ с кисловатым запахом и вкусом, продукт полного окисления углерода. Необходимый газ для фотосинтеза, являющийся главным источником свободного кислорода на Земле. В малых концентрациях не опасен, при повышенных концентрациях в воздухе по воздействию на воздуходышащие живые организмы его относят к удушающим газам.

Оксид углерода (CO) — бесцветный газ, не имеющий запаха, известен также под названием «угарный газ». Образуется в результате неполного сгорания ископаемого топлива (угля, газа, нефти) в условиях недостатка кислорода и при низкой температуре. При вдыхании угарный газ за счёт имеющейся в его молекуле двойной связи

образует прочные комплексные соединения с гемоглобином крови человека и тем самым блокирует поступление кислорода в кровь.

Диоксид серы (SO_2) (диоксид серы, сернистый ангидрид) образуется в процессе сгорания серосодержащих ископаемых видов топлива, в основном угля, а также при переработке сернистых руд. Он, в первую очередь, участвует в формировании кислотных дождей. Общемировой выброс (SO_2) оценивается в 190 млн тонн в год. Длительное воздействие диоксида серы на человека приводит вначале к потере вкусовых ощущений, стесненному дыханию, а затем — к воспалению или отёку лёгких, перебоям в сердечной деятельности, нарушению кровообращения и остановке дыхания.

Оксиды азота (оксид и диоксид азота) — газообразные вещества: моно оксид азота NO и диоксид азота NO_2 объединяются одной общей формулой NO_x . При всех процессах горения образуются окислы азота, причем большей частью в виде оксида. Чем выше температура сгорания, тем интенсивнее идет образование окислов азота.

Другим источником окислов азота являются предприятия производящие азотные удобрения, азотную кислоту и нитраты, анилиновые красители, нитросоединения. Количеств окислов азота, поступающих в атмосферу, составляет 65 млн тонн в год. От общего количества выбрасываемых в атмосферу оксидов азота на транспорт приходится 55%, на энергетику — 28%, на промышленные предприятия — 14%, на мелких потребителей и бытовой сектор — 3%.

Озон (O_3) — газ с характерным запахом, более сильный окислитель, чем кислород. Его относят к наиболее токсичным из всех обычных загрязняющих воздух примесей. В нижнем атмосферном слое озон образуется в результате фотохимических процессов с участием диоксида азота и летучих органических соединений.

Углеводороды — химические соединения углерода и водорода. К ним относят тысячи различных загрязняющих атмосферу веществ, содержащихся в несгоревшем бензине, жидкостях, применяемых в химчистке, промышленных растворителях и т. д.

Свинец (Pb) — серебристо-серый металл, токсичный в любой известной форме. Широко используется для производства красок, боеприпасов, типографского сплава и т. п. Около 60 % мировой добычи свинца ежегодно расходуется для производства кислотных аккумуляторов. Однако основным источником (около 80 %) загрязнения атмосферы соединениями свинца являются выхлопные газы транспортных средств, в которых используется этилированный бензин.

В статье [1] изучаются теоретические и прикладные аспекты моделирования и оптимального управления такой опасностью. Моделирование основано на имитации и визуализации рассеивания загрязняющих веществ в атмосфере, оценке сроков возникновения ядерных и химических катастроф, а также оценке риска опасных веществ. Оптимальное управление основано на теории естественной кибернетики, оценке эффективности и экономической стоимости методов управления и методах оптимизации. Приведены некоторые приложения и иллюстрации моделирования и оптимального управления.

В статье [2] представляется разработка алгоритма математической модели, основанной на уравнении распределения примесей в турбулентной среде. Это позволяет учесть одновременное влияние скорости ветра, турбулентности атмосферного воздуха, параметров загрязнения, направления и силы ветра на размеры зон рассеяния. Уникальной особенностью исследования является использование уравнения координат

натного расщепления распределения примесей в турбулентной среде с последующей нормализацией и параметризацией условий.

В исследовании [3] представлен секторальный вклад антропогенных выбросов в четырех северных странах (Дании, Финляндии, Норвегии и Швеции) в уровень загрязнения воздуха и связанное с этим воздействие на здоровье и затраты в северных и арктических регионах на 2015 год. В работе рассматриваются такие сектора выбросов, как производство энергии, непромышленное/коммерческое отопление, промышленность, дорожное движение, внедорожные мобильные источники и утилизация отходов сельское хозяйство.

В работе [4] анализируется проблематика, связанная с улучшением охраны окружающей среды через применение численных методов на электронно-вычислительных машинах (ЭВМ) с целью оптимизации расположения промышленных объектов в населенных регионах. Учитывается влияние климатических и метеорологических факторов на данное размещение.

В статье [5] был проведен анализ химического состава аэрозольных частиц в приземном слое атмосферы в семиаридных районах Калмыкии. проводится оценка аккумуляции химических элементов в почвах и аэрозольных частицах, а также рассчитаны кларки концентрации, коэффициенты аэрозольной концентрации и местной аэрозольной концентрации.

Работы [6, 7] основаны на синтезе математического аппарата теории сопряженных операторов и уравнений, а также методов визуального представления. В результате он может быть отнесен к методам анализа данных. Следует отметить, что подход, рассмотренный в этой работе, может быть использован для решения текущих задач верификации и валидации. С помощью визуализации поля градиента целевого функционала и полей сопряженных параметров можно качественно и количественно оценить вклад погрешности аппроксимации. Кроме того, это позволяет предложить идеи относительно выбора расчетных сеток и необходимого количества итераций.

В регенеративной подметально-уборочной машине, описанной в статье [8], воздушный поток и частицы пыли, поступающие в систему, фильтруются и рециркулируют внутри системы. Для моделирования и анализа системы контроля пыли использована экспериментальная стендовая система. Направление воздушного потока через всасывающий и впускной каналы было определено с помощью CFD ANSYS. С помощью модели дискретных частиц измерено эффективность всасывания частиц различных форм, типов и точно предсказывается траектории движения частиц.

В работе [9] на основе прямых и сопряженных уравнений рассматриваются задачи переноса загрязнений, методы их решения, определение функционала чувствительности, а также оптимизация и регулировка мощности источников.

В исследование [10], проведенное в Дублине, Ирландия, особо отмечается важность учета локальных ветровых условий при планировании озеленения городских улиц для контроля загрязнения воздуха. Модель, учитывающая динамику ветра и движения, показывает, что деревья могут препятствовать вентиляции в умеренно глубоких уличных каньонах, ухудшая качество воздуха. На наветренной стороне улиц деревья могут снижать качество воздуха при параллельном ветре, тогда как на подветренной стороне результаты зависят от плотности деревьев и скорости ветра. Это исследование подчеркивает необходимость тщательного планирования городского озеленения для улучшения качества воздуха.

В статье [11] исследует влияние городских деревьев на распределение оксида углерода, выделяемого дорожным трафиком, демонстрируя, что растительность зна-

чительно влияет на аэродинамические характеристики ветра и, следовательно, на концентрацию загрязнителей. Оба исследования подчеркивают важность интеграции зелёных насаждений в градостроительные планы для оптимизации качества воздуха и улучшения общего благополучия в городской среде.

В работе [12] использована система моделирования QUIC для оценки влияния зданий и растительности на локальные ветровые и турбулентные условия в городе Болонья, Италия. Результаты показывают, что морфология зданий и наличие деревьев могут стабилизировать или изменять местные атмосферные условия, оказывая влияние на качество воздуха.

В работе [13] рассматривается влияние физико-механических свойств загрязняющих веществ, выбрасываемых промышленными предприятиями, и эрозии почвы с учетом климатических условий региона. В ней также рассматривается вопрос оптимального размещения промышленных объектов для соблюдения санитарно-гигиенических норм с акцентом на экономию вычислительных ресурсов.

В работе [14] разработана модель, основанная на законах гидромеханики, учитывающая погодноклиматические факторы, а также поглощение и захват аэрозольных частиц растительностью. Особое внимание уделено источникам загрязнения, интенсивность которых может меняться во времени. Данная модель помогает анализировать и прогнозировать распространение вредных веществ в приземном слое атмосферы.

В работе [15] для оценки приземных концентраций $PM_{2.5}$ были разработаны модель случайного фор-эста (непараметрические алгоритмы машинного обучения) и две традиционные регрессионные модели. Наиболее подходящая модель была использована для оценки ежедневных концентраций $PM_{2.5}$ на территории Китая с разрешением $0,1^\circ$ (≈ 10 км) в период 2005-2016 гг. Использование новой схемы моделирования и последних наземных наблюдений за $PM_{2.5}$, метод машинного обучения показывает более высокую предсказательную способность по сравнению с предыдущими исследованиями.

В статье [16] исследовалась пригодность европейских сетей для проверки соблюдения стандартов качества воздуха и оценки воздействия на население. Модель качества воздуха (URBIS) была применена для оценки и сравнения пространственного распределения концентрации диоксида азота (NO_2) в атмосферном воздухе в четырех крупных городах (Берлин, Лондон, Штутгарт и Барселона).

В работе [17] предложенная модель на основе машинного обучения представляет собой ансамбль регрессора Extra Tree Regressor и адаптивного бустинга. Исследование эффективности показывает, что предложенная модель, т.е. ET AdaBoost, достаточно хороша с точки зрения фактических и прогнозируемых значений, поскольку эти значения практически равны.

В исследовании [18] проведен анализ пространственно-временных характеристик пяти основных загрязнителей атмосферы ($PM_{2.5}$, PM_{10} , SO_2 , NO_2 и CO) вблизи потенциальных источников природных аэрозолей в семи городах (Ухай, Алашань, Учжун, Чжунвэй, Увэй, Цзиньчан, Чжанъе). По спектрометрическим данным с умеренным разрешением (MODIS) за весь период, в регионе преобладают чисто-континентальный (71,49%) и смешанный (22,29%) типы аэрозолей. Соотношение $PM_{2.5}$ и PM_{10} показывает присутствие грубых аэрозолей в общем содержании со значением 0.43. Наибольшие концентрации загрязняющих веществ наблюдались в период пыльных бурь, когда содержание $PM_{2.5}$ и PM_{10} превышало 200 и 1000 $\mu\text{кг}/\text{м}^3$, а значение AOD превышало 1. Ультрафиолетовый аэрозольный индекс (UVAI), аэро-

зольная поглощающая оптическая глубина (AAOD) и альбеда однократного рассеяния (SSA), полученные с помощью прибора мониторинга озона (OMI), свидетельствуют о высоком содержании пылевых аэрозолей в период песчаных бурь.

В работе [19] для экологических исследований (NERI) разрабатывается трехмерная эйлерова модель загрязнения воздуха в полушарии - Датская эйлерова модель полушария (DENM). Модель используется для изучения дальнего переноса загрязнения воздуха в Северном полушарии.

В исследовании [20] представлены характеристики загрязнения атмосферных частиц над Китаем, включая уровни, соотношения и корреляции массовых концентраций PM2.5 и PM10, а также химические характеристики, основанные на данных, опубликованных до 2012 г.

2 Постановка задачи

Для прогнозирования концентрация вредных веществ в приземном слое атмосфере промышленного региона, на примере, г. Чирчика на основе предложенной математической модели и численного метода решения задачи [21–24]:

$$-\frac{\partial\theta(x,y,z,t)}{\partial t} - u\frac{\partial\theta(x,y,z,t)}{\partial x} - v\frac{\partial\theta(x,y,z,t)}{\partial y} - w\frac{\partial\theta(x,y,z,t)}{\partial z} + \sigma\theta = \frac{\partial}{\partial z}\left(\varkappa\frac{\partial\theta(x,y,z,t)}{\partial z}\right) + \mu\left(\frac{\partial^2\theta(x,y,z,t)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2\theta(x,y,z,t)}{\partial y^2}\right) + P(x,y,z,t); \quad (1)$$

$$-\mu\frac{\partial\theta}{\partial x}\Big|_{x=0} = \gamma(\theta_t - \theta); \quad \mu\frac{\partial\theta}{\partial x}\Big|_{x=L_x} = \gamma(\theta_t - \theta); \quad (2)$$

$$-\mu\frac{\partial\theta}{\partial y}\Big|_{y=0} = \gamma(\theta_t - \theta); \quad \mu\frac{\partial\theta}{\partial y}\Big|_{y=L_y} = \lambda(\theta_t - \theta); \quad (3)$$

$$\varkappa\frac{\partial\theta}{\partial z}\Big|_{z=0} = \beta \cdot \theta - F_0(x,y,z); \quad \varkappa\frac{\partial\theta}{\partial z}\Big|_{z=H_z} = \gamma(\theta_t - \theta); \quad (4)$$

$$\theta(x,y,z,t) = \theta_T(x,y,z). \quad (5)$$

Здесь θ – концентрация распространяющегося вещества, t – время, x, y, z – координаты, u, v, w – составляющие скорости ветра по направлениям x, y, z соответственно, w_g – скорость осаждения частицы, \varkappa – коэффициент турбулентного перемешивания, μ – коэффициент диффузии, σ – коэффициент поглощения, β – коэффициент взаимодействия с подстилающей поверхностью, $P(x, y, z, t)$ – мощность выброса вредных веществ в атмосферу из стационарных источников; $F_0(x, y, z)$ – количества выброса солей и аэрозольных частиц из поверхности земли; θ_b – концентрация взвешенных веществ поступающая через границы области решения задачи.

Для мониторинга и прогнозирования концентрация вредных веществ в атмосфере, на примере г. Чирчика проведены численные расчеты на ЭВМ.

3 Вычислительные эксперименты

С целью изучения распространения вредных веществ от промышленных предприятий г. Чирчика моделирован процесс рассеивания аэрозолей. Рассмотрены распространения аэрозолей в области D1, включающие промышленные предприятия г. Чирчика. Подстилающая поверхность состоит из 22 x 22 точек сеточной области с шагом по x и y 500м, (11x11) км². Вторая область D – включает в себя Ташкентскую область с центром г. Ташкента. С северной части включает Чарвак, Ходжейли,

Хаджикент, Газалкент, Чирчик, Сарыагач, с южной части Аккурган, Пскент, Ахангаран и т.д. Подстилающая поверхность также состоит (22x22) точек сеточной области с шагом 4000 м, (88x88) км².

В зависимости от расположения источников по вертикали берутся уровни: $Z = 0, 6, 15, 25, 100, 200, 300, 600$ м и на этих уровнях прогнозируется распределение концентрации (CO_2).

При прогнозировании концентрации вредных веществ использованы трёхмерные уравнения в частных производных соответствующими краевыми условиями третьего рода, а для численного интегрирования поставленной задачи использован конечно-разностный метод с порядками аппроксимации $0(\Delta h^2, \Delta t)$.

С помощью распределения концентрации можно вычислить следующие функции-аналы:

1. Количества аэрозоля в области D за время T , подобласти $D_1 \in D$

$$J_D = \int_0^T \int_D \int \int \theta(x, y, z, t) dx dy dz dt,$$

$$J_{D_1} = \int_0^T \int_{D_1} \int \int \theta(x, y, z, t) dx dy dz dt.$$

2. Количества аэрозоля в области D в момент времени $t = t_i$

$$J_D(t = t_i) = \int \int_D \int \theta(x, y, z, t_i) dx dy dz,.$$

3. Количество выпавших аэрозолей за время $[0, T]$ на подстилающую поверхность (Σ)

$$J_{0,\Sigma} = (w_g + \beta) \int_0^T \int \int \theta(x, y, z_0, t) dx dy dt.$$

4. Количество выпавших аэрозолей в момент времени $t = t_i$ на подстилающую поверхность

$$J_{0,\Sigma,i} = (w_g + \beta) \int \int \theta(x, y, z_0, t_i) dx dy dt.$$

5. Среднее количество аэрозоля за время $[0, T]$ в области D

$$J_{D,cp} = \frac{1}{T} \int_0^T \int \int_D \int \theta(x, y, z, t) dx dy dz dt.$$

6. Среднее количество аэрозоля за время $[0, T]$ на подстилающую поверхность

$$J_{D,\Sigma,cp} = \frac{1}{T} (w_g + \beta) \int_0^T \int \int \theta(x, y, z, t) dx dy dt.$$

Для прогнозирования процесса распространения окиса углерода (CO_2) в г. Чирчика и Ташкентской области проведены численные расчеты на ЭВМ на основе предложенного математического обеспечения объекта исследования.

Промышленное предприятие г. Чирчика выбрасывает в атмосферу 10353063 г окиса углерода (CO_2) за три часа.

Окись углерода выпускает Электрохимпром – 906.444 г/с, УзКТЖМ – 3.6991, ЧКСМ и К – 21.20 г/с, Чирчиктеплом – 20.5, Средазхиммаш 6.5841 – в общей сложности около 1000 г/с.

При опасной скорости ветра $V = 0.5$ м/с за 3 часа в области G количество составляет 4506529.1 г, что составляет 43.5% выбрасываемых вредных веществ. При ветре $V = 7.0$ м/с количество аэрозоля в области G составляет 4.153%, большая часть 77% переносится в окружающую среду, часть аэрозоля поглощается атмосферным воздухом и растительным покровом.

Окись углерода выброшенных из выше указанных объектов на уровнях: 6, 15, 25 м на основе численных расчетов определились на уровнях 0, 6, 15, 25, 100, 300 метров.

Приведем максимальную концентрацию $\theta \cdot 10^7$ г/м³ на уровнях при различных скоростях ветра (табл. 1).

Таблица 1 Распределения концентрации вредных веществ в атмосфере при различных скоростях ветра для г. Чирчика

$t = t_i$ (час)	$J_D(t = t_i)$ (г)	$J_{o,\Sigma}(t = t_i)$ (г)	$\frac{J_D(t = T)}{QT}$ %	$\frac{J_{o,\Sigma}(t = T)}{QT}$ %	QT(г)	V (м/с)
0.5	1499316.6	9.8228	43.52%	0.000366%	958.617	0.5
1.0	2666098.8	20.1490				
1.5	3652132.1	25.0000			3*3600=10353063	
2.0	4014527.5	33.1411				
2.5	4329654.4	36.2160				
3.0	4506529.1	37.9300				
[0, T]	J_D	J_{o,Σ}	J_{D, cp}	J_{o,Σ, cp}		V (м/с)
	36906570000	297476	3417275	27544		0.5
0.5	375815.26	0.84447	4.153%	0.1.3*10 ⁻⁴ %	10353063	7.0
1.0	424655.97	1.03551				
1.5	429515.82	1.06406				
2.0	429924.13	1.06745				
2.5	429954.62	1.06779				
3.0	429956.70	1.06783				
[0, T]	J_D	J_{o,Σ}	J_{D, cp}	J_{o,Σ, cp}		V (м/с)
/0.3/	4135680500	11064.799	419970.42	1.04		7.0

Таблица 2 Концентрации вредных веществ по высоте при различных скоростях воздушной массы атмосферы

Z(м)	0	6	15	25	100	300	V (м/с)
$\theta \left(\frac{г}{м^3}\right) \cdot 10^7$	1911	51102	96699	221467	4961	504	0.5
	53	3271	2527	9919	65	1	7.0

Из анализа проведенных вычислительных экспериментов видно, что на нижних уровнях ($Z = 6, 15, 25$) концентрация превышает от предельно допустимой концентрации (ПДК - 5 мг/м^3), то есть она на 10-500 разов больше, чем концентрации на уровнях $Z = 100, 300 \text{ м}$. На уровне $Z = 15 \text{ м}$ радиус зоны повышенной концентрации составляет $2 < X < 3 \text{ км}$, на $Z = 25 \text{ м} - 2 < X < 3.5 \text{ км}$, а радиус зоны с концентраций $\theta > 4/\text{м}^3$ составляет на уровне $Z = 6 \text{ м} - 1.5 < X < 2 \text{ км}$, на уровнях $X = 15; 25 \text{ м} 2 < X < 3.5 \text{ км}$.

Численные расчеты так же приведены для мониторинга и прогнозирования распространения вредных веществ в атмосфере выброшенные из промышленных предприятий г. Чирчика в Ташкентской области. Распространение радиуса окиса углерода (CO_2) от промышленных предприятий г. Чирчика при северо-восточном ветре за время $[0; 6]$ часов составляет $45 < X < 60 \text{ км}$ при $V = 0.5 \text{ м/с}$, а при $V = 7 \text{ м/с} - X > 80 \text{ км}$ для Ташкентской области (таб. 3) для г. Чирчика (таб.4).

Таблица 3 Изменение концентрации вредных веществ в Ташкентской области при различных скорость ветра

$t = t_i$ (час)	$J_D(t = t_i)$	$J_{o,\Sigma}(t = t_i)$	$\frac{J_D(t = T)}{QT} \%$	$\frac{J_{o,\Sigma}(t=T)}{QT} \%$	QT(грамм)	V (м/с)
1	2805971.1	20.29			207760196.3	
2	5079530.98	37.72	51.4%	$0.33 \cdot 10^{-3} \%$		
3	6927826.41	50.02				0.5
4	8434951.35	58.48				
5	9666592.75	64.4				
6	10674067.35	68.62				
[0, T]	J_D	$J_{o,\Sigma}$	J_D, cp	$J_{o,\Sigma, \text{cp}}$		V (м/с)
[0.6]	78460092730	1078438.32	7264823.3	49.92		0.5
1	2543138.82	19.49		$0.1.3 \cdot 10^{-4} \%$	10353063	
2	3952002.59	32.88	23.66%	$0.205 \cdot 10^{-3} \%$	20760196.3	
3	4577999.63	39.20				7.0
4	4812799.78	41.64				
5	4889970.00	42.47				
6	4912766.54	42.71				
[0, T]	J_D	$J_{o,\Sigma}$	J_D, cp	$J_{o,\Sigma, \text{cp}}$		V (м/с)
	92479238496	786449.52	4281446.2	36.40		7.0

Таблица 4 Распределение концентрации вредных веществ над г. Чирчика

Z	0	6	15	25	100	300	V (м/с)
$\theta \cdot 10^7$	457	11603	14380	17893	1457	135	0.5
$\theta \cdot 10^7$	17	520	820	2167	20	0	7.0

Анализ численных расчетов показал, что при опасной скорости ветра ($V = 0.5 \text{ м/с}$) концентрация на низких уровнях в 20-30 разов больше чем на $Z = 100, 300 \text{ м}$.

В таблице 3 приводятся значения $J_D(t = t_i)$, $J_{o,\Sigma}(t = t_i)$, $J_D(t = T)/QT\%$, J_D , J_o , J_D, cp , $J_{o, \Sigma}$, $J_{o, \Sigma, \text{cp}}$ при различных скоростях ветра. Количества вредных веществ,

находящихся в области D в момент времени $t = t_0 + T$ ($t_0 = 0$, $T=6$ ч) при ветре $V = 0.5$ м/с составляет 10674067.35, при $V = 7.0$ м/с 4912766.54 г, поскольку в атмосферу выброшено за время T часов 20760196.3 г окиси углерода. Количество находящихся аэрозолей в области D при $V = 0.5$ м/с составляет 51.416% всех выпускаемых вредных веществ, а при $V = 7.0$ м/с – 23.664% остальная часть поглощается атмосферой, подстилающей поверхностью и оставшаяся часть переносится с воздушными массами атмосферы за пределы рассматриваемой области.



Рис. 1 Концентрация вредных веществ в атмосфере при скорости движения воздушных масс $V = 0.5$ м/с и $V = 7.0$ м/с при разных высотах

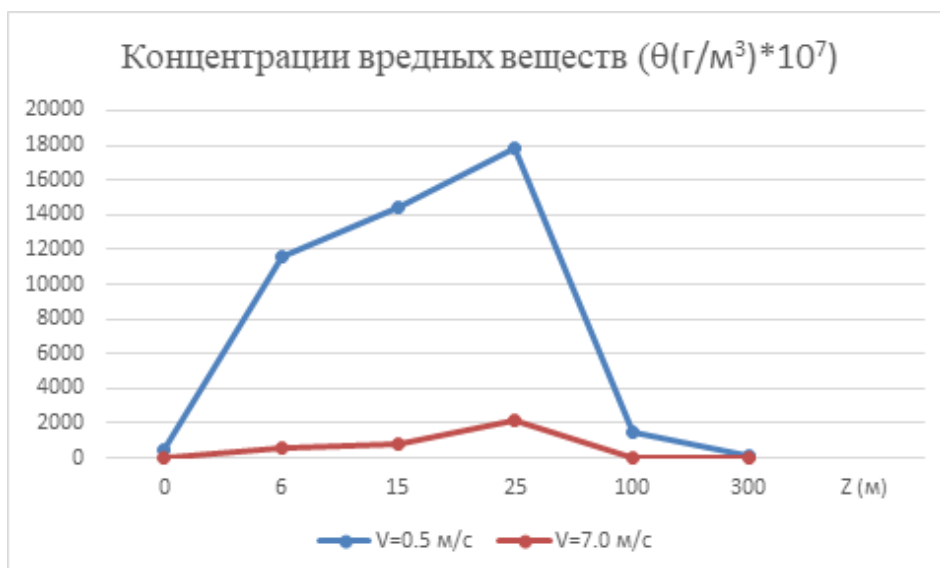


Рис. 2 Концентрация вредных веществ в атмосфере при скорости ветра в г. Чирчик $V = 0.5$ м/с и $V = 7.0$ м/с, а высота разная

Как показала практика, опасная скорость ветра вредна для г. Чирчика, а усиленный ветер способствует загрязнению окружающей среды прилегающих районов г. Чирчика и Ташкентской области.

Для прогнозирования распространения пыли в г. Чирчике и Ташкентской области были проведены вычислительные эксперименты на ЭВМ.

Промышленные предприятия г. Чирчика Электрхимпром, Средазхиммаш, Чирчиксельмаш, Чирчикской комбинат строительных материалов и конструкций, Кирпичное заводоуправление в общей сложности выбрасывает 415.5 г/с пыли в атмосферу в среднем на уровнях 6, 11, 25 метров.

Проведены численные эксперименты по прогнозу распространения пыли на уровнях $Z = 0, 6, 11, 25, 100, 300$ метров, а источники расположены на уровнях 6, 11, 25 м. Приведем максимальную концентрацию *107 г/м³ на уровнях при различных скоростях ветра (таб. 5).

Таблица 5 Концентрация вредных веществ в атмосфере при различных значениях скорости воздушной массы атмосферы по уровням

Z(м)	0	6	11	25	100	300	V (м/с)
$\theta * 10^7$	3998	116870	42757	61870	1719	181	0.5
$\left(\frac{г}{м^3}\right)$	2140	15493	4059	4968	20	0	7.5

Таблица 6 Распределение концентрации вредных веществ в регионе при различных скоростях ветра

$t = t_i$ (час)	$J_D(t = t_i)$	$J_{o,\Sigma}(t = t_i)$	$\frac{J_D(t = T)}{QT} \%$	$\frac{J_{o,\Sigma}(t = T)}{QT} \%$	QT(грамм)	V (м/с)
0.5	624764.7	9.92				
1	1102674.3	16.28	42.0%	0.00054%	415*Т=4487856	0.5
1.5	1440973.3	20.13				
2.0	1664819.3	22.46				
2.5	1804627.1	23.85				
3.0	1887768.1	24.65				
[0, T]	J_D	J_{o,Σ}	J_{D, cp}	J_{o,Σ, cp}		
[0.3]	15346128760.0	200383.0	1420937.8	19.55		0.5
0.5	167681.5	3.46	4.35%	0.95*10 ^{M0} %	4487886	7.0
1.0	192092.7	4.15				
1.5	194957.1	4.25				
2.0	195251.0	4.26				
2.5	195278.3	4.26				
3.0	196280.8	4.26				
[0, T]	J_D	J_{o,Σ}	J_{D, cp}	J_{o,Σ, cp}		
	2052974989.	44403.4	190090.2	4.11		7.0

Максимальная концентрация соответствует к уровням $Z = 6$ м, где от источников выбрасывается в атмосферу 107.22 г/с пыли, а на уровне $Z = 11$ м – 62.314 г/с на $Z = 25$ м – 246.018 г/с пыли. Высокая концентрация пыли наблюдается в области расположенного источника выброса. Это объясняется тем, что на нижних уровнях коэффициент турбулентности в 25-50 раз меньше чем на уровнях $Z = 25, 100$ метров.

Но количество аэрозолей, находящихся на уровне $Z = 6$ м меньше чем на уровне $Z = 25$ м где мощность источника в два раза больше, чем на уровне $Z = 6$ м уровне.

Численные расчеты показали, что $Z = 6$ м, где источник располагается на территории радиусом $X = 300$ м концентрация превосходит в 2-3 раза предельно-допустимый (ПДК = 0.5 мг/м³) с $= 500$ м концентрация $\theta \geq 0.5$ мг/м³., на уровне $Z = 11$ м концентрация ниже ПДК, на уровне $Z = 25$ м территория с радиусом $= 200$ м концентрация ближе к ПДК, верхнем уровне $Z = 300$ м концентрация ослабевает. При опасной скорости ветра радиус территории, в котором концентрация превосходит ПДК составляет $= 500$ м на уровне $Z = 11$ м и при $= 250000$ м на уровне $Z = 25$ м и при $= 200000$ м и внутри этих территорий концентрация превосходит предела допустимой концентрации в два, три, четыре, пять разов.

В таблице 6 приводятся значения функционалов при различных скоростях ветра для г. Чирчика. Теперь рассмотрим распространение пыли, выпускающие от предприятий г. Чирчика в Ташкентскую область (табл.7). В результате численного интегрирования задача прогнозирует распределение концентрации на уровнях $Z = 0, 6, 11, 25, 100, 300$ метров. Источники расположены на уровнях $Z = 6, 11, 25$ м. В табл. 8 приводится максимальная концентрация на уровнях над г. Чирчиком.

На уровне $Z = 6, 11, 25$ м частицы доходят до Абая, Уртааул, Сарыагач, на $Z = 100$ – до Хажиабат, Янгиюль, Сергели, Той-тепе.

Анализ численных расчетов показал, что при ветре $V = 7.0$ м/с концентрация над г. Чирчиком в 10 – 20 раз меньше, чем при ветре $V = 0.5$ м/с. Частицы пыли доходят до Абая, Гульбахор, Сергели, Алимкент и выходят за пределы Ташкентской области.

Таблица 7 Концентрация пыли при различных скоростях ветра для Ташкентской области

$t = t_i$ (час)	$J_D(t = t_i)$	$J_{o,\Sigma}(t = t_i)$	$\frac{J_D(t = T)}{QT} \%$	$\frac{J_{o,\Sigma}(t = T)}{QT} \%$	QT(грамм)	V (м/с)
1.0	1191164.3	15.92			207760196.3	
2.0	2151354.5	24.92	51.4%	$0.33 \cdot 10^{-3} \%$		
3.0	2930686.1	30.52				0.5
4.0	3565704.8	34.23				
5.0	4084446.9	36.80				
6.0	4508572.3	38.62	50.23%	$0.43 \cdot 10^{-3} \%$	8975754.72	0.5
[0, T]	J_D	J_{o,Σ}	J_{D, ср}	J_{o,Σ, ср}		V (м/с)
[0.6]	66354945080.0	651731.0	3071988.2	30.17		0.5
1	2	3	4	5	6	7
1.0	1084944.3	15.80		$0.13 \cdot 10^{-4} \%$	10353063	7.0
2.0	1688270.8	23.13		$0.205 \cdot 10^{-3} \%$	20760196.3	
3.0	1958467.7	26.17				
4.0	2060694.4	27.28				
5.0	2094563.9	27.65				
6.0	2104655.02	27.77	23.44%	$0.309 \cdot 10^{-3}$	8975754.72	
[0, T]	J_D	J_{o,Σ}	J_{D, ср}	J_{o,Σ, ср}		V (м/с)
[0.6]	3956974675.2	532177.0	1831932.7	24.63		7.0

Таблица 8

Z (м)	0	6	11	25	100	300	V (м/с)
$\theta \cdot 10^7 \left(\frac{r}{m^3}\right)$	408	10381	8675	6690	552	52	0.5
$\theta \cdot 10^7 \left(\frac{r}{m^3}\right)$	56	1832	1014	624	6	0	7.0

Вычислительным экспериментом установлены, что в момент времени $t = t_0 + T(t_0 = 0)$ в области D находятся 50.23 % выброшенные пыли от предприятий г. Чирчика при ветре $V = 0.5$ м/с, а 23.44% при $V = 7.0$ м/с. При ветре $V = 7.0$ м/с ближайшие районы к г. Чирчику концентрация сравнивается с г. Чирчиком. Опасная скорость вредна для г. Чирчика, а при больших скоростях загрязняются соседние районы в зависимости от направления скорости ветра, обычно юго-западные районы.

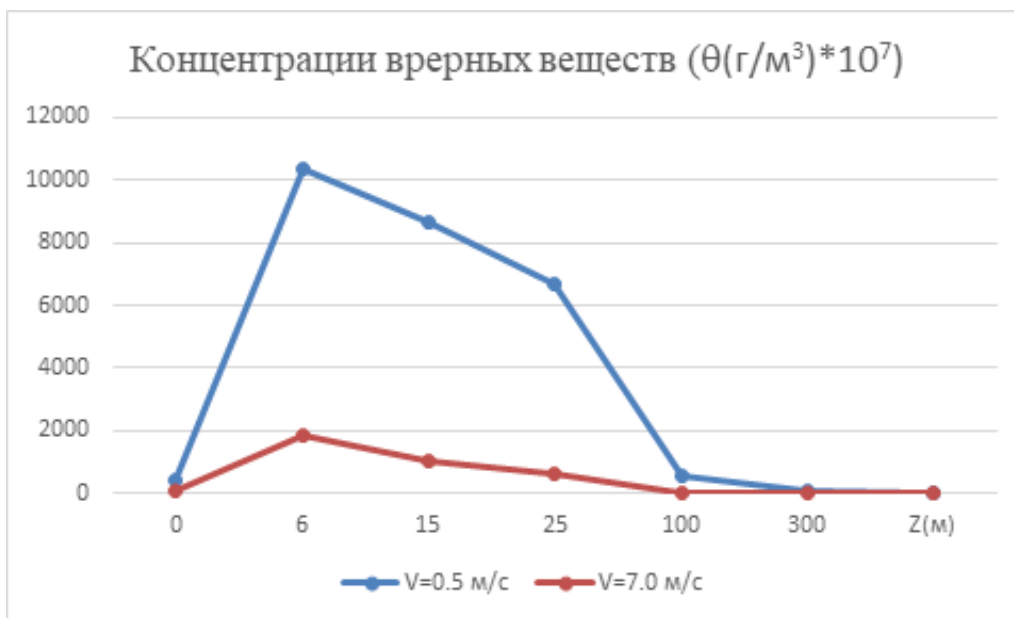


Рис. 3 Максимальная концентрация на уровнях над г. Чирчиком

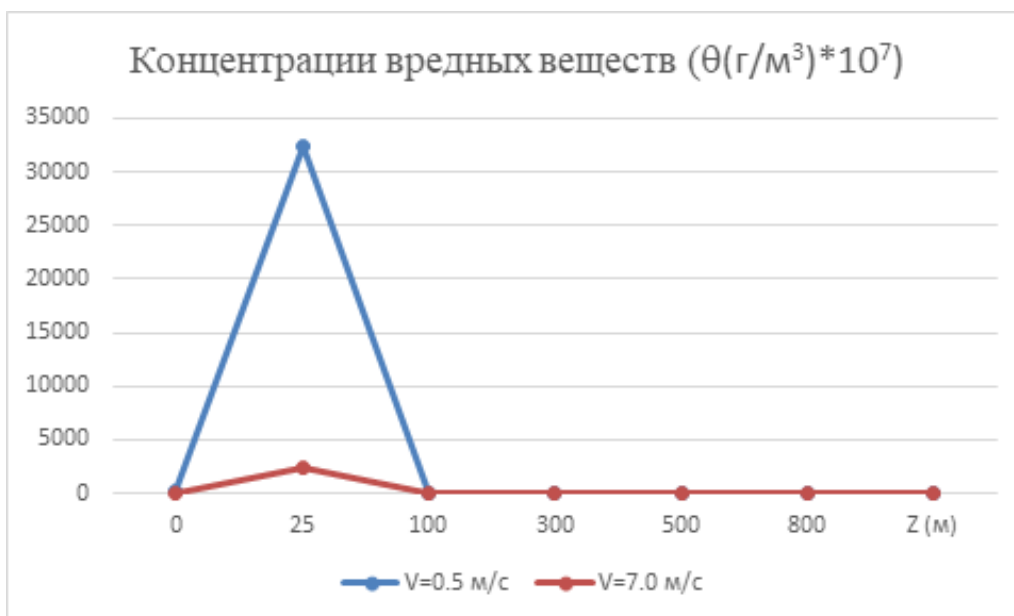


Рис. 4 Концентрация аммиака вредных веществ в атмосфере при скорости ветра в г. Чирчик $V = 0.5$ м/с и $V = 7.0$ м/с, а высота разная

Далее проводится расчеты для прогнозирования распространения аммиака в г. Чирчика и Ташкентской области выбрасываемые с мощностью 3.2415 мг/м^3 из Электромхимпром и УзКТЖМ на уровнях $Z = 0.25, 100, 300, 500, 800 \text{ м}$. Максимальная концентрация расположена на уровне $Z = 25 \text{ м}$ (табл. 9), где ПДК составляет 0.2 мг/м^3 .

Таблица 9 Распределение концентрации аммиака по уровням для г. Чирчика

Z	0	25	100	300	500	800	V (м/с)
$\varphi * 10^7$	198	32415	106	0	0	0	0.5
$\left(\frac{\text{г}}{\text{м}^3}\right)$	3	2402	1	0	0	0	7

Из анализа расчетов видно, что протяженности 6000 м , шириной 3000 м концентрация превосходит ПДК на уровне $Z = 25 \text{ м}$ при ветре $V = 0.5 \text{ м/с}$, а при ветре $V = 7.0 \text{ м/с}$ под факелом концентрация превосходит от ПДК, а в остальных областях меньше ПДК.

Теперь рассмотрим распространение аммиака в Ташкентской области. Приводим максимальные концентрации на уровнях (табл.10).

Таблица 10 Распределение концентрации аммиака по уровням для Ташкентской области

Z	0	25	100	300	500	800	V (м/с)
$\varphi * 10^7$	41	4354	83	1	0	0	0.5
$\left(\frac{\text{г}}{\text{м}^3}\right)$	2	397	1	0	0	0	7



Рис. 5 Концентрация аммиака вредных веществ в атмосфере при скорости ветра в Ташкентской области $V = 0.5 \text{ м/с}$ и $V = 7.0 \text{ м/с}$, а высота разная

Таблица 11 Сравнение концентрации аммиака по уровню для Ташкентской области и г. Чирчика при скорости ветра $V = 0.5$ м/с

Z		0	25	100	300	500	800	V (м/с)
$\theta * 10^7$ ($\frac{г}{м^3}$)	г. Чирчика	198	32415	106	0	0	0	0.5
	Ташкентскую область	41	4354	83	1	0	0	0.5

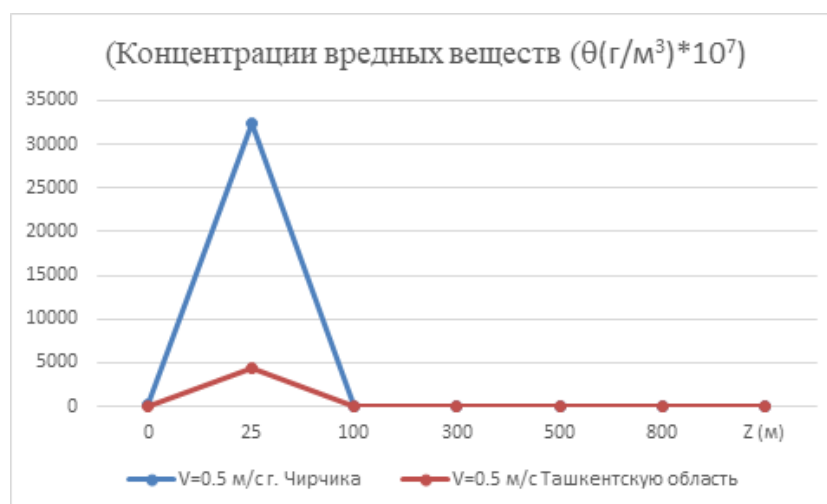


Рис. 6 Сравнение концентрации аммиака вредных веществ в атмосфере при скорости ветра в Ташкентской области и г. Чирчика $V = 0.5$ м/с и $V = 7.0$ м/с а высота разная

Таблица 12 Концентрация аммиака при различных скоростях ветра для г. Чирчика

$t = t_i$ (час)	$J_D(t = t_i)$	$J_{o,\Sigma}(t = t_i)$	$\frac{J_D(t = T)}{QT} \%$	$\frac{J_{o,\Sigma}(t = T)}{QT} \%$	QT(грамм)	V (м/с)
1	2	3	4	5	6	7.0
0.5	256863.35	0.75				0.5
1	443804.82	1.46				
1.5	570737.49	1.98				
2.0	651274.02	2.32				
2.5	699254.09	2.53				
3.0	726274.67	2.65	37.09%	0.135*10 ⁻³ %	1957627.3	
[0, T]	J_D	$J_{o,\Sigma}$	$J_{D, cp}$	$J_{o,\Sigma, cp}$		V (м/с)
[0.3]	60267751.9	21107.1	558034.7	1.95		0.5
1	2	3	4	5	6	7
0.5	58129.2	0.11		0.1.3*10 ⁻⁴ %	10353063	7.0
1.0	65147.7	0.14		0.205*10 ⁻³ %	20760196.3	
1.5	65819.0	0.14				
2.0	65873.8	0.14				
2.5	65877.7	0.14				
3.0	65878.0	0.14	3.3%	0.74*10 ⁻⁵	1957627.3	
[0, T]	J_D	$J_{o,\Sigma}$	$J_{D, cp}$	$J_{o,\Sigma, cp}$		V (м/с)
[0.3]	5775526110	1506.2	64454.2	0.139		7.0

Таблица 13 Концентрация аммиака при различных скоростях ветра для Ташкентской области

$t=t_i$ (час)	$J_D(t=t_i)$	$J_{o,\Sigma}(t=t_i)$	$\frac{J_D(t=T)}{QT}$ %	$\frac{J_{o,\Sigma}(t=T)}{QT}$ %	QT(грамм)	V (м/с)
1	2	3	4	5	6	7.0
1.0	535054.9	1.745				0.5
2.0	973426.3	3.321				
3.0	1332785.8	4.558				
4.0	1627574.3	5.508				
5.0	1869501.1	6.236				
6.0	2068031.6	6.794	52.8%	0.17*10 ⁻³ %	3915252.7	
[0, T]	J _D	J _{o,Σ}	J _{D, cp}	J _{o,Σ, cp}		V (м/с)
[0.6]	3026294738.0	101395.44	1401062.3	4.69		0.5
1	2	3	4	5	6	7
1.0	486779.4	1.61		0.13*10 ⁻⁴ %	10353063	7.0
2.0	760998.1	2.71		0.205*10 ⁻³ %	20760196.3	
3.0	884839.0	3.24				
4.0	932011.5	3.45				
5.0	947729.5	3.53				
6.0	952441.8	3.55	24.32%	0.908*10 ⁻⁴		
[0, T]	J _D	J _{o,Σ}	J _{D, cp}	J _{o,Σ, cp}		V (м/с)
[0.6]	6840616896	65279.5	827466.5	3.02		7.0

Вычислительными экспериментами установлены, что при ветре $V = 7.0$ м/с, концентрация распространяется за пределы Ташкентской области (табл. 13), при ветре $V = 0.5$ м/с., 37.1% остается в г. Чирчике, а при $V = 7.0$ м/с, 3.36%, а 52.8%, 24.32%. распространяется в Ташкентской области, а часть аэрозолей поглощается в атмосфере и подстилающей поверхностью. Распространение окислы азота при различных скоростях ветра над г. Чирчиком и Ташкентской области приведены в табл. 14.

Окислы азота выпускает предприятия Электрохимпром, УзЮТМ, ЧКСМ и К, Чирчиктеплоэнерго около 222.2 г/с, где мощность источников расположены в среднем на уровнях $Z = 6, 25$ м. Прогнозируется концентрации окислы азота на уровнях $Z = 0, 6, 25, 100, 300, 600$ м. Большая часть выбрасываемых вредных веществ приходится Электрохимпрому ($Q = 196.83$ г/с). На табл. 14 приводим максимальные концентрации на уровнях при ветре $V = 0.5$ м/с и $V = 7.0$ м/с.

Таблица 14 Концентрации окислы азота над г. Чирчиком

Z	0	6	25	100	300	600	V
$\theta * 10^7 \left(\frac{г}{м^3}\right)$	336	10185	48074	661	14	0	0.5

На уровне $Z = 6$ м юго-западная часть рассматриваемой области при $V = 0.5$ м/с, концентрация превосходит от ПДК (ПДК = 0.085 мг/м³). На юго-западных

частях жилых районов концентрация превосходит 7-10 разов от ПДК, на уровне $Z = 25$ м зона превышающей от ПДК еще расширяется по сравнению с $Z = 6$ м. Зона превышающей концентрации по горизонтали составляет 25 км^2 , количество аэрозолей в области D составляет 37.09 % от всех выбрасываемых веществ за $[0, T]$ времени, часть аэрозолей поглощается атмосферой, подстилающей поверхностью, и большая часть переносится в соседние районы. При скорости ветра $V = 7.0 \text{ м/с}$ всего 3.3 остается в области D , остальная часть переносится в соседние районы.

Рассмотрим распространение аэрозолей в Ташкентской области, выбрасываемых от предприятий г. Чирчика и приводим вертикальные распределения концентрации над факелом (г. Чирчик) (табл.15).

Таблица 15 Концентрации окислы азота над г. Чирчиком

Z	0	6	25	100	300	600	$V(\text{м/с})$
$\theta * 10^7$	101	2550	4665	208	4	0	0.5
$\left(\frac{\text{г}}{\text{м}^3}\right)$	3	104	493	2	0	0	7.0

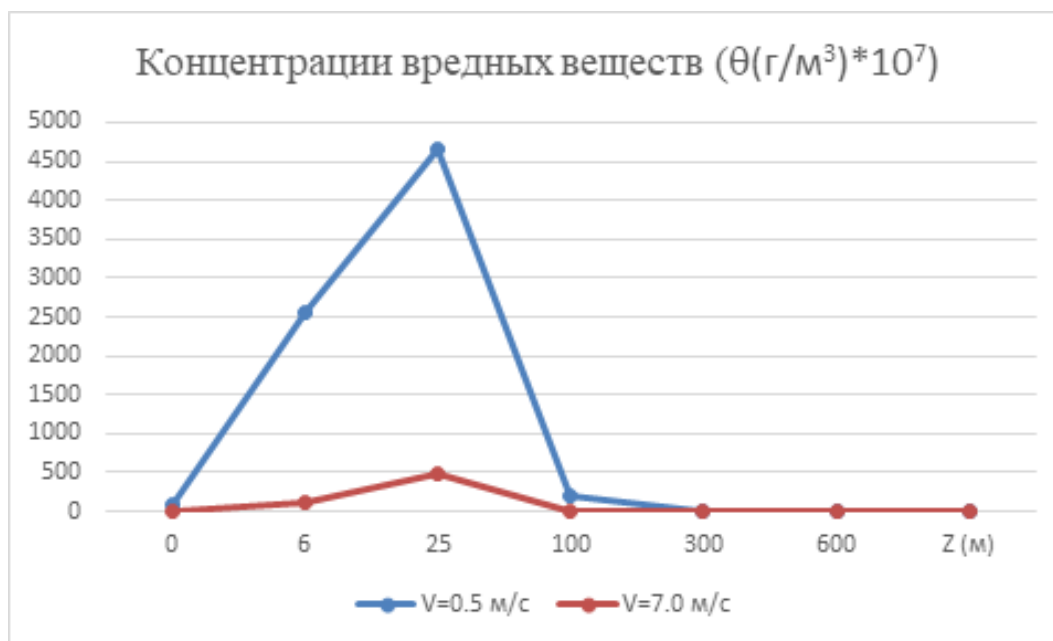


Рис. 7 Концентрация окислы азота вредных веществ в атмосфере при скорости ветра в г. Чирчиком $V = 0.5 \text{ м/с}$ и $V = 7.0 \text{ м/с}$, а высота разная

При прогнозировании распространения окисла азота над Ташкентской областью показали, что концентрация над г. Чирчиком на всей части г.Ташкента на уровне $Z = 6$ м в три раза больше ПДК (ПДК = $0.085 \text{ м}^2/\text{м}^3$), а на $Z = 25$ м – в пять раз больше чем ПДК. Вредное вещество при ветре $V = 7 \text{ м/с}$ распространяется на всю Ташкентскую область, а при ветре $V = 0.5 \text{ м/с}$, концентрация вредных веществ накапливается вокруг источника вредных веществ в г. Чирчика (табл. 16, 17).

Таблица 16 Распространения концентрации окисла азота при различных скоростях ветра в г. Чирчика

$t=t_i$ (час)	$J_D(t=t_i)$	$J_{o,\Sigma}(t=t_i)$	$\frac{J_D(t=T)}{QT}$ %	$\frac{J_{o,\Sigma}(t=T)}{QT}$ %	QT(грамм)	V (м/с)
1	2	3	4	5	6	7
0.5	339797.7	1.91				0.5
1.0	601508.3	4.04				
1.5	785375.7	5.77				
2.0	904484.6	6.99				
2.5	976463.8	7.77				
3.0	1017471.5	8.23	42.4%	$0.3 \cdot 10^{-3}$ %	2399230.8	
[0, T]	J _D	J _{o,Σ}	J _{D, cp}	J _{o,Σ, cp}		V (м/с)
[0.3]	8925183277.	62500	770850	5.78		
0.5	83058.76	0.16				7.0
1.0	93700.05	0.20				
1.5	94752.8	0.21				
2.0	94840.9	0.21				
2.5	94847.5	0.21				
3.0	94848.0	0.21	3.9%	$0.8826 \cdot 10^{-5}$		
[0, T]	J _D	J _{o,Σ}	J _{D, cp}	J _{o,Σ, cp}		V (м/с)
[0.3]	1000886697.0	2197.17	92674.6	0.20		7.0

Таблица 17 Распространение концентрации окисла азота при различных скоростях ветра в Ташкентской области

$t=t_i$ (час)	$J_D(t=t_i)$	$J_{o,\Sigma}(t=t_i)$	$\frac{J_D(t=T)}{QT}$ %	$\frac{J_{o,\Sigma}(t=T)}{QT}$ %	QT(грамм)	V (м/с)
1	2	3	4	5	6	7
1	648848.7	4.49				0.5
2	1173188.5	8.88				
3	1597284.5	12.34				
4	1940991.7	14.90				
5	2220134.0	16.77				
6	2447178.4	18.13	50.9%	$0.3 \cdot 10^{-7}$	4798448	
1	2	3	4	5	6	7
[0, T]	J _D	J _{o,Σ}	J _{D, cp}	J _{o,Σ, cp}		V(м/с)
[0.6]	360994453890.	27190.3	1671271.	16.99		0.5
1	539495.2	4.1				7.0
2	927160.8	7.2				
3	1078075.6	8.8				
4	1195816.5	9.5				
5	1155213.2	9.7				
6	1161079.2	9.8	2.4%	$0.2 \cdot 10^{-3}$		
[0, T]	J _D	J _{o,Σ}	J _{D, cp}	J _{o,Σ, cp}		V(м/с)
[0.6]	2178026880.	177924.9	16084734.7	8.23		7.0

Для прогнозирования процесса распространения сернистого ангидрида над Чирчиком и Ташкентской области проведены численные расчеты на вычислительной системе. В атмосферу сернистый ангидрид выбрасывает в атмосферу Электрохимпром, КЗУ № 9 в сумме 22.78 г/с, где источники расположены на уровнях $Z = 6$ м и $Z = 25$ м. В табл. 18 приводим концентрацию сернистого ангидрида в различных значениях Z по высоте слоя атмосферы над г. Чирчика.

Таблица 18 Концентрации сернистого ангидрида при различных значениях скорости ветра

Z	0	6	25	100	300	600	V (м/с)
$\theta * 10^7$ ($\frac{г}{м^3}$)	71	2090	5058	70	1	0	0.5
	3	185	391	1	0	0	7.0

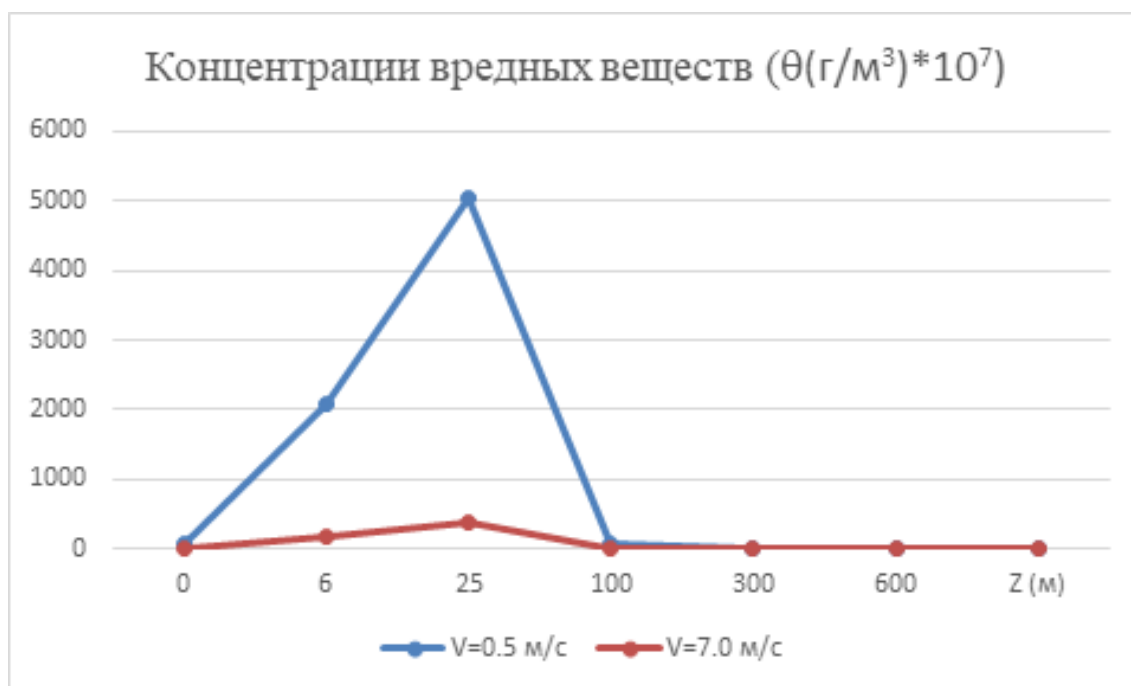


Рис. 8 Концентрации сернистого ангидрида при различных значениях скорости ветра

При ветре $V = 0.5$ м/с 46.05% выброшенного вещества остаются в рассматриваемой области, а при $V = 7.5$ м/с – 4.6% концентрация за три часа не превышает от ПДК кроме точки под факелом.

Аналогичная картина получена при распространении сернистого ангидрида в Ташкентской области.

4 Заключение

В качестве заключения можно отметить следующие выводы. Проведены численные расчеты с целью моделирования процесса распространения вредных веществ

(CO₂, пыли, аммиака), выбрасываемых промышленными предприятиями города Чирчик и Ташкентской области.

В расчетах были учтены скорости ветра на различных уровнях по высоте, что позволило выполнить оценку влияния этого параметра на характер распределения концентрации выбросов вредных веществ в атмосфере. По каждому из загрязняющих вещества был проведен анализ факторов, способствующих образованию максимальных концентраций, превышающих предельно допустимые нормы.

Также, с помощью расчетов осуществляли прогноз распространения веществ в атмосфере над территориями, прилегающих к промышленным источникам, по времени и с учетом влияния скоростей ветра на рассеивание выбросов.

Литература

- [1] *Shunxiang H, Feng L, Qingcun Z, Fei H and Zifa W* Modeling and Optimal Control of Atmospheric Pollution Hazard in Nuclear and Chemical Disasters UTAM Symposium on the Dynamics of Extreme Events Influenced by Climate Change. – Procedia IUTAM 17. – P. 79–90. – 2015. DOI: 10.1016/j.piutam.2015.06.012.
- [2] *Kozii I., Plyatsuk I., Zhylenko T., Hurets I., Y. Bataltsev, Sayenkov D.* Development of the Turbulent Diffusion Model of Fine Suspended Substances in the Lower Atmosphere Layer. ISSN 1392–1320 MATERIALS SCIENCE (MEDŽIAGOTYRA). – Vol. 28, – No. 4. – 2022. DOI: 10.5755/j02.ms.30223
- [3] *U. Im, J. H. Christensen, O. K. Nielsen and others.* Contributions of Nordic anthropogenic emissions on air pollution and premature mortality over the Nordic region and the Arctic. – Atmos.Chem.Phys.,19,12975–12992,201. DOI: 10.5194/acp-19-12975-2019
- [4] *Равшанов Н., Шарипов Д.К.* Сопряженная модель нестационарного процесса переноса и диффузии аэрозольных выбросов в атмосфере. – В мире научных открытий. – Красноярск, – 2010. – № 6. – С. 67–70.
- [5] *Губанова Д.П., Кудерина Т.М., Чхетиани О.Г. и др.* Экспериментальные исследования аэрозолей в атмосфере семиаридных ландшафтов калмыкии – Ландшафтно-геохимический состав аэрозольных частиц. // УДК 502.07, 504.3.054, 550.423, 631.41. Геофизические процессы и биосфера – 2018. Т. 17 № 3. DOI: 10.21455/GPB2018.3-2
- [6] *Алексеев А.К., Бондарев А.Е.* Применение сопряженных уравнений в задачах верификации и валидации расчетов – Новые информационные технологии в автоматизированных системах, – 2012.
- [7] *Бондарев А.Е., Галактионов В.А., Четкин В.М.* Анализ развития концепций и методов визуального представления данных в задачах вычислительной физики // Журнал вычислительной математики и математической физики. – 2011. Т. 51, N 4, – С. 669–683.
- [8] *Fayzullayevich, J.V., Tan, G.F., Alex F.J., Agyeman P.K., Wu Y.J.* Improvement of Dust Particle Suction Efficiency by Controlling the Airflow of a Regenerative Air Sweeper. – DOI 10.3390/app12199765. 2022-10-22
- [9] *М.А. Кучумов* Сопряженные задачи переноса и диффузии в проблеме оценки и прогноза состояния окружающей среды.// – 2015. www.bibliofond.ru/view.aspx?id=786131
- [10] *Meng-Yi Jin a b, Le-Ying Zhang b, Zhong-Ren Peng c d, Hong-Di He a, Prashant Kumar, John Gallagher* Effect of medium heterogeneities on reactive dissolution of carbonates // The impact of dynamic traffic and wind conditions on green infrastructure performance to improve local air quality// Science of The Total Environment Volume 917, 20 March – 2024. 170211 //doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.170211
- [11] *Amorim J.H.* – Volumes 461–462, 1 September 2013. – P. 541–551. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.05.031

- [12] *Francesco Barbano, Silvana Di Sabatino, Rob Stoll, Eric R. Pardyjak* A numerical study of the impact of vegetation on mean and turbulence fields in a European-city neighbourhood // *Building and Environment* Volume 186, December – 2020. 107293 <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107293>
- [13] *Ravshanov N., Nabieva I., Karshiev D.* Conjugate Problem for Optimal Placement of Industrial Production Facilities. // *International Journal of Theoretical and Applied Issues of Digital Technologies*. – P. 15–26. <https://doi.org/10.62132/ijdt.v7i2.175> – 2024.
- [14] *Ravshanov N., Tashtemirova N., Karshiyev D.A.* Modelirovaniye protsessa rasprostraneniya aerazol'nykh chastits v pogranichnom sloye atmosfery s uchetom ikh pogloshcheniya i zakhvata rastitel'nykh pokrovom. *Problemy vychislitel'noy i prikladnoy matematiki* № 2(56) – 2024. – S. 41–57.
- [15] *Gongbo Chen, Shanshan Li and etc.* A machine learning method to estimate PM2.5 concentrations across China with remote sensing, meteorological and land use information. *Science of the Total Environment* 636 – 2018. – P. 52–60. Doi:10.1016/j.scitotenv.2018.04.251 0048
- [16] *Jan Duyzer, Dick van den Hout, Peter Zandveld, Sjoerd van Ratingen* Representativeness of air quality monitoring networks. *Atmospheric Environment* // 104 – 2015. 88e. www.elsevier.com/locate/atmosenv
- [17] *Saurabh Kumar, Shweta Mishra, Sunil Kumar Singh* A machine learning-based model to estimate PM2.5 concentration levels in Delhi's atmosphere. – *Heliyon* 6 – 2020. e05618. www.cell.com/heliyon
- [18] *Mikalai Filonchyk, Volha Hurynovich, Haowen Yan Shuwen Yang* Atmospheric pollution assessment near potential source of natural aerosols in the South Gobi Desert region, – – 2020. *China, GIScience Remote Sensing*, 57:2, – P. 227-244. DOI: 10.1080/15481603.2020.1715591
- [19] *Christensen, J.H.* “The Danish Eulerian Hemispheric model—A Three-dimensional Air Pollution Model Used for the Arctic.” – 1997. *Atmospheric Environment* 31 (24): – P. 4169–4191. doi:10.1016/S1352-2310(97)00264-1
- [20] *Zhou, X., Z. Cao, Y. Ma, L. Wang, R. Wu, and W. Wang.* “Concentrations, Correlations and Chemical Species of PM2.5/PM10 Based on Published Data in China: Potential Implications for the Revised Particulate Standard.” *Chemosphere* 144: – 2016. – P. 518–526
- [21] *Ravshanov N., Muradov F., Akhmedov D.* Mathematical software to study the harmful substances diffusion in the atmosphere. // *Ponte*. – Vol. 74. – No. 8/1. – 2018. – P. 171–179. – DOI: 10.21506/j.ponte.2018.8.13.
- [22] *Равшанов Н., Таштемирова Н., Мурадов Ф.* Исследование существования и единственности решения задачи переноса и диффузии аэрозольных частиц в атмосфере. // *Проблемы вычислительной и прикладной математики*. Ташкент, – №1(7). – 2017. – С. 54–67.
- [23] *Равшанов Н., Шафиев Т., Таштемирова Н.* Нелинейная математическая модель для мониторинга и прогнозирования процесса распространения аэрозольных частиц в атмосфере. // *Вестник ТУИТ*. – №2(50). – 2019. – С. 45–60.
- [24] *Ravshanov N., Nazarov S., Nazarov E. and Boborakhimov B.* Development of a mathematical model of aerosol particles' distribution process in the surface layer of the atmosphere taking into account the earth's heterogeneous surface. // *AIP Conf. Proc.* 3004, 060004 – 2024. <https://doi.org/10.1063/5.0200769>

Поступила в редакцию 14.08.2024

UDC 519.6

COMPUTATIONAL EXPERIMENTS AIMED AT ASSESSING AND PREDICTING THE DISTRIBUTION OF INDUSTRIAL EMISSIONS IN THE ATMOSPHERIC BASIN OF THE TASHKENT REGION

**Ravshanov N., Nabieva I.*

*ravshanzade-09@mail.ru

Digital Technologies and Artificial Intelligence Development Research Institute,
17A, Buz-2, Tashkent, 100125 Uzbekistan.

Based on the developed mathematical software, this paper presents the results of numerical calculations on the task of monitoring and forecasting the concentration of industrial emissions of pollutants (CO_2 , dust, ammonia) in the city of Chirchik and Tashkent region, performed taking into account wind speeds at different levels at altitude, as well as stable, unstable and indifferent stratification of the atmosphere over the region under consideration. Evaluation of concentration field distribution at different altitudes was carried out for each pollutant. The influence of wind speed on exceeding the maximum permissible concentration of a substance, and vice versa - on the nature and speed of dispersion of harmful emissions in the surface layer of the atmosphere was also analyzed. Numerical calculations established the ranges of wind speeds at which favorable conditions (entrainment and dispersion of emissions) are observed for Chirchik city, as well as unfavorable conditions when stable areas of air basin pollution are formed over the city and over the territory of Tashkent region as a whole.

Keywords: wind speed, pollution concentration, monitoring, atmosphere, Chirchik.

Citation: Ravshanov N., Nabieva I. 2024. Computational experiments aimed at assessing and predicting the distribution of industrial emissions in the atmospheric basin of the Tashkent region. *Problems of Computational and Applied Mathematics*. 4(58): 48-68.

HISOBLASH VA AMALIY
МАТЕМАТИКА
MUAMMOLARI

ПРОБЛЕМЫ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ
И ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ

PROBLEMS OF COMPUTATIONAL
AND APPLIED MATHEMATICS



ПРОБЛЕМЫ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ И ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ

№ 4(58) 2024

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., Амиргалиев Е.Н. (Казахстан), Бурнашев В.Ф.,
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), Курбонов Н.М., Маматов Н.С., Мирзаев Н.М.,
Мирзаева Г.Р., Мухамадиев А.Ш., Назирова Э.Ш., Нормуродов Ч.Б.,
Нуралиев Ф.М., Опанасенко В.Н. (Украина), Расулмухамедов М.М., Расулов А.С.,
Садуллаева Ш.А., Старовойтов В.В. (Беларусь), Хаётов А.Р., Халджигитов А.,
Хамдамов Р.Х., Хужаев И.К., Хужаеров Б.Х., Чье Ен Ун (Россия),
Шабозов М.Ш. (Таджикистан), Dimov I. (Болгария), Li Y. (США),
Mascagni M. (США), Min A. (Германия), 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.: +(998) 712-319-253, 712-319-249.

Э-почта: journals@airi.uz.

Веб-сайт: <https://journals.airi.uz>.

Дизайн и вёрстка:

Шарипов Х.Д.

Отпечатано в типографии НИИ РЦТИИ.

Подписано в печать 30.08.2024 г.

Формат 60x84 1/8. Заказ №4. Тираж 100 экз.

Содержание

<i>Абдурахимов Б.Ф., Джусураева Н.Т.</i> Численное моделирование сингулярно возмущенного уравнения четвертого порядка методом предварительного интегрирования	8
<i>Равшанов Н., Неъматов А., Исмаилов Ш.</i> Параллельный алгоритм решения задачи фильтрации нефти с учетом изменения проницаемости пласта	18
<i>Эшмаматова Д.Б., Юсупов Ф.А.</i> Дискретная модель SWMB исследования передачи компьютерных вирусов	33
<i>Равшанов Н., Набиева И.</i> Вычислительные эксперименты по оценке и прогнозированию распространения промышленных выбросов в атмосферном бассейне Ташкентской области	48
<i>Узаков З.У., Бегулов О.У.</i> Применение объектно-ориентированного подхода в задаче трехфазной фильтрации	69
<i>Равшанов Н., Туракулов Ж.</i> Численное исследование процесса фильтрования малоцентрированных растворов через пористую среду	84
<i>Фазылов Ш.Х., Мирзаев Н.М., Раджабов С.С., Раббимов И.М.</i> Интенциональный метод распознавания объектов, описанных в признаковом пространстве большой размерности	98
<i>Игнатъев Н.А., Турсунмуротов Д.Х.</i> Об эффективности метрических алгоритмов распознавания на базе k ближайших соседей	117
<i>Хакимов М.Х., Бекова В.Г.</i> Морфологический анализ существительных в машинном переводе с английского на узбекский язык	126
<i>Шарипов Д.К., Саидов А.Д.</i> Использование различных алгоритмов машинного обучения для прогнозирования смертности после острого инфаркта миокарда с использованием медицинских данных GUSTO-1	135
<i>Ёркуллов Б.А., Сулюккова Л.Ф.</i> Модели оценки качества образовательной информационной системы на основе нечетких когнитивных карт	148