

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЖУРНАЛ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ И ПРИКЛАДНЫХ ВОПРОСОВ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

P-ISSN: 2181-3086

E-ISSN: 2181-3094

Самаркандский филиал Ташкентского университета информационных технологий имени Мухаммада ал-Хоразмий

WEB: <https://ijdt.uz/index.php/ijdt>



ИЗУЧЕНИЕ ОСНОВНЫХ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРЕ

* Шафиев Т.Р.¹, Бобожонова М.А.¹

¹ Бухарский государственный университет, Бухара, Узбекистан

*tursunshafiyev@gmail.com

Цитирование: Шафиев Т.Р., Бобожонова М.А. (2024). Изучение основных факторов, влияющих на распространение вредных веществ в атмосфере. Международный Журнал Теоретических и Прикладных Вопросов Цифровых Технологий, 7(3), –С. 99-104. <https://doi.org/10.62132/ijdt.v7i3.202>

Дата поступления: 08.06.2024

Дата принятия: 29.06.2024

Дата печати: 30.09. 2024

DOI: <https://doi.org/10.62132/ijdt.v7i3.202>

УДК 519.6:504.064.2.001.18

ИЗУЧЕНИЕ ОСНОВНЫХ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРЕ

**Шафиев Т.Р.¹, Бобожонова М.А.¹*

¹ Бухарский государственный университет, Бухара, Узбекистан

*tursunshafiyev@gmail.com

Аннотация. В статье были проведены исследования с целью всестороннего изучения важных факторов, влияющих на процесс переноса и диффузии вредных веществ и пылевых частиц в атмосфере. Рассматриваются уравнения, учитывающий физические и механические свойства частиц, отражающем процесс рассеивания этих вредных веществ и пылевых частиц в атмосфере. Для получения результатов исследования были проведены вычислительные эксперименты и представлены графики, показывающие динамику перемещений рассматриваемых частиц в направлении x,y,z.

Ключевые слова: перенос и диффузия вредных веществ, численный эксперимент, уравнения переноса вредных веществ.

I. ВВЕДЕНИЕ

В нашей республике день ото дня наглядно демонстрируются выдающиеся достижения в различных сферах экономики. В основе таких достижений в основном лежит увеличение объемов производства на более высоком уровне, увеличение доли экспорта, увеличение количества предоставляемых услуг. Интенсификация и рост объемов производства, обусловленные научно-техническим прогрессом и резким увеличением населения, несмотря на усовершенствование технологии и техники очистки газовых выбросов и экономические санкции против предприятий, загрязняющих атмосферу, повлекли увеличение общей массы выбросов вредных веществ. Первое место занимают здесь аэрозоли – аэродисперсные системы, состоящие из твердых или жидких частиц, взвешенных в воздушной среде. В свою очередь аэрозоли делятся на пыли, дым и туман. В настоящее время невозможно вести эффективное производство во многих отраслях промышленности без ущерба для окружающей среды, в частности в металлургии, горной промышленности, производстве строительных материалов без постоянного мониторинга пылегазовых выбросов в атмосферу.

Анализ научной литературы по математическому моделированию ветровой эрозии и запыления воздуха показал, что в этом направлении был получен ряд значимых теоретических и практических результатов.

В частности статье [1] приведен в упрощенном виде процессы ветровой эрозии, которые представляют собой движение почвенной

массы под действием воздушных потоков. Авторы показали, что для того, чтобы выявить причины движения этих масс, необходимо уметь измерять это движение – измерять поток твердой фазы (т. е. почвы) в процессе эрозии.

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 почвы. Для изучения и прогнозирования процесса распространения вредных веществ были разработаны математическая модель и численный алгоритм проведения компьютерного эксперимента.

В работе [3] определены следующие методы: математическое моделирование на основе полуэмпирических уравнений хаотической диффузии; численное решение многомерных уравнений в частных производных, кроме этого разработана математическая модель процесса распространения выбросов загрязняющих веществ в пограничном слое атмосферы по сферической системе координат с учетом погодных условий и географических особенностей местности, поглотительной способности атмосферы, скорости осадения частицы загрязняющих веществ и их взаимодействие с подстилающей поверхностью, масса переноса через границы рассматриваемой территории.

В статье [4] дается обзор текущих возможностей регионального и мезомасштабного метеорологического моделирования, связанных с

исследованиями загрязнения воздуха. Обсуждено недостатки существующих моделей прогнозирования и мониторинга и приводятся несколько примеров, демонстрирующих возможности новых инструментов оценки экологической состояния рассматриваемого региона. Авторы подчеркивают, что сегодня компьютерная скорость и память, особенно в отношении графических суперкомплексов, достаточно продвинуты, чтобы быстрее прогнозировать экологической состояния атмосфере на основе метеорологические модели такого масштаба в сочетании с эйлеровыми моделями адвекционно-диффузионной или моделями лагранжевой дисперсии частиц. С помощью этих программных средств можно регулярно оценивать загрязнения воздуха и реагировать на чрезвычайные ситуации.

В исследованиях автором [5–7] разработана трехмерная линейная математическая модель с учетом физико-механических свойств частиц которая, отображает процесс движения и диффузии вредных веществ в атмосфере, а также для миграции и диффузии вредных веществ в атмосфере разработана трехмерная нелинейная математическая модель, учитывающая изменяющуюся скорость движения частиц загрязняющих веществ, условия погоды и климата рассматриваемой местности и ее топография.

В диссертационном работе [8] показано результатов исследований заключается в разработке и совершенствовании математических моделей распределения токсичных веществ в атмосфере с учетом изменения погодных и климатических факторов, коэффициентов турбулентности и поглощения, изменения скорости осадения мелких частиц, а также при разработке более точных и эффективных численных алгоритмов решения задачи, используя преимущества комбинации методов: приближенного возрастания порядка, чередования направлений и разделения на физические процессы.

В работе [9], которая посвящена мониторингу и прогнозированию распространения вредных выбросов в атмосферу промышленных регионов, используются математические модели, численные алгоритмы для оценки изменений климата, эрозии почвы и коэффициента турбулентности. Кроме этого, были разработаны и исследованы математические модели процессов распространения аэрозолей в приповерхностных слоях атмосферы с учетом эрозии почв и диффузии частиц, изучена возможность решения задачи о переносе аэрозоля в атмосферу и его диффузии.

Проблема Аральского море является очень проблематичном для населения Узбекистана и для территорий, граничащих с ним. В статье авторов [10,11] проведено исследования 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.

Несмотря на то, что концентрация вредных веществ, выбрасываемых производственными и промышленными объектами, выбрасывается в атмосферу в виде постоянной массы, на их рассеивание в атмосфере могут влиять ряд природных и техногенных факторов.

Также существуют природно-климатические факторы, влияющие на процесс рассеивания вредных веществ в атмосферном воздухе. К природным факторам относятся: особенности режима циркуляции воздушных масс; стабильность температуры окружающей среды; изменения атмосферного давления и влажности; температура, изменчивость температуры, частота и продолжительность ее повторения; скорость ветра, застой воздушного потока и низкая скорость ветра (0-1 м/с); продолжительность районов в рассматриваемой области; геологическое, гидрологическое строение и топография территории; состояние почвы и растений (тип почвы, водопроницаемость, пористость, эрозия почвы, состав почвы); можно назвать такими фоновыми показателями загрязнения атмосферы.

В связи с тем, что температура окружающей среды, скорость и направление ветра в природе постоянно меняются, распространение вредных веществ и частиц пыли в атмосферном воздухе происходит постоянно в новых условиях. Неблагоприятные погодные условия и горные районы усиливают действие таких факторов, а значит, замедляется процесс диффузии и всасывания вредных веществ. Если низкая температура и низкие значения солнечной радиации замедляют распространение вредных веществ и частиц пыли, то осадки и высокая температура воздуха способствуют ускорению их разложения.

В течение дня нагревание земной поверхности солнцем вызывает подъем теплого воздуха, вызывая дополнительную турбулентность. По-

этому к вечеру температура воздуха и турбулентность на земле снизятся. В заключение можно отметить, что распространение вредных веществ и частиц пыли в атмосфере увеличивается в светлое время суток и уменьшается в вечернее время.

Также физико-механические свойства рассматриваемой частицы оказывают серьезное влияние на рассеивание вредных веществ, в том числе частиц пыли, в атмосферном воздухе. Поскольку движение частиц в атмосферном воздухе зависит от их размеров при математическом моделировании процесса переноса и диффузии этих частиц, необходимо учитывать такие важные факторы, такие как: форма, плотности и, соответственно, коэффициенты формы тела их сопротивления воздушному потоку и силы сопротивления различны для разных частиц.

Физико-механические свойства частиц влияют на их горизонтальное и вертикальное перемещение в атмосферном воздухе. На горизонтальную скорость частиц вместе со скоростью ветра влияют их коэффициент лобового сопротивления и форма.

Вертикальное перемещение вредных веществ и частиц пыли, выбрасываемых в атмосферу естественными и антропогенными источниками, также зависит от ряда важных параметров. Несмотря на то, что частицы разной формы и веса движутся с одинаковой скоростью, они не опускаются на землю за один и тот же промежуток времени, это выражается в наличии сопротивления воздуха.

В общем случае, если предположить, что на движение частицы влияет только ее сопротивление, то силу, действующую на частицу, можно записать в векторной форме следующим образом:

$$\vec{F}_r = -F_r \frac{\vec{V}}{V},$$

где - F_r абсолютное значение действующей силы.

Используя F_r , можно вывести дифференциальное уравнение движения тела, брошенного в горизонтальном направлении:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = -\frac{F_r}{V} \frac{dx}{dt};$$

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} = -mG - \frac{F_r}{V} \frac{dy}{dt}.$$

Во второй части приведенного уравнения учтена также сила Архимеда, действующая на тело, которая равен

$$G = \left(1 - \frac{\rho_h}{\rho_z}\right)g,$$

здесь g – ускорение свободного падения, ρ_h – плотность воздуха, ρ_z – плотность рассматриваемой частицы.

Вертикальная скорость частицы не увеличивается бесконечно из-за сопротивления воздуха. Следовательно, скорость частицы со временем достигает определенного значения (если учитывать только сопротивление воздуха). Если скорость погружения частицы достигает v_{\max} , чего можно достичь, то сила сопротивления остается равной ее весу (с учетом силы Архимеда):

$$\vec{F}_r = mG.$$

При анализе факторов, влияющих на горизонтальную и вертикальную скорость частиц, невозможно перейти к следующему параметру без определения их сопротивления. Величина этой силы зависит от поля скоростей воздушного потока вокруг частиц. При малых скоростях потока поток ламинарный. В этом случае движение частицы можно рассматривать как относительное движение, не мешающее потоку воздуха.

При движении частиц воздуха вдоль (ламинарного) потока между потоками между ними возникает сила внутреннего трения. Эта сила представляет собой особое свойство потока жидкости или газа – вязкость, и определяется и называется коэффициентом динамической вязкости. Обычно коэффициент динамической вязкости принимают для воздуха $\eta = 1,8 \cdot 10^{-5} \text{ Па} \cdot \text{с}$ ($\text{Па} \cdot \text{с} = \text{кг} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$), но этот параметр меняется в зависимости от температуры окружающей среды.

Выражение силы сопротивления удобно использовать вместе с коэффициентом сопротивления в рассматриваемом диапазоне скоростей. Поскольку при малых скоростях режим сопротивления меняется, то и режим сопротивления частицы при переходе от ламинарного течения к турбулентному зависит от ее скорости. Однако прямой зависимости между коэффициентом лобового сопротивления и скоростью частицы нет. Связь между ними можно выразить числом Рейнольдса (Re).

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Для учета факторов, влияющих на указанный процесс, рассмотрим следующие уравне-

ния, которые представляют собой координатные скорости u_q, v_q, w_q вредных веществ и частиц пыли, выбрасываемых различными источниками в атмосферу [12–14]:

$$m \frac{du_q}{dt} = 3\pi\eta d_q (u - u_q); \quad (1)$$

$$m \frac{dv_q}{dt} = 3\pi\eta d_q (v - v_q); \quad (2)$$

$$m \frac{dw_q}{dt} = 3\pi\eta d_q (w - w_q) - mg; \quad (3)$$

и соответствующие им начальные условия:

$$u_q|_{t=0} = u_q^0; \quad v_q|_{t=0} = v_q^0; \quad w_q|_{t=0} = w_q^0,$$

здесь u, v, w — скорость ветра по направлениям; g - ускорение свободного падения; t - время; d_q - диаметр частиц; $-m$ масса частиц; η - коэффициент динамической вязкости.

Для обеспечения устойчивости в процессе решения указанной задачи численными методами аппроксимируем уравнения (1)-(3) неявно-конечно разностной схемой следующим образом:

$$\frac{u_q^{n+\frac{1}{3}} - u_q^n}{\Delta t / 3} = \frac{3\pi\eta d (u - u_q^{n+\frac{1}{3}})}{m},$$

$$\frac{v_q^{n+\frac{1}{3}} - v_q^n}{\Delta t / 3} = \frac{3\pi\eta d (v - v_q^{n+\frac{1}{3}})}{m},$$

$$\frac{w_q^{n+\frac{1}{3}} - w_q^n}{\Delta t / 3} = \frac{3\pi\eta d (w - w_q^{n+\frac{1}{3}}) - mg}{m}.$$

Открывая скобки, сократим аналогичные члены и найдем скорости частицы в рассматриваемых направлениях:

$$u_q^{n+\frac{1}{3}} = \frac{m u_q^n + \Delta t \pi \eta d u}{m + \Delta t \pi \eta d},$$

$$v_q^{n+\frac{1}{3}} = \frac{m v_q^n + \Delta t \pi \eta d v}{m + \Delta t \pi \eta d},$$

$$w_q^{n+\frac{1}{3}} = \frac{m w_q^n + \Delta t \pi \eta d w - mg \Delta t / 3}{m + \Delta t \pi \eta d}.$$

Таким же образом, применив описанную выше процедуру к координате OY , придем к следующему выражению:

$$u_q^{n+\frac{2}{3}} = \frac{m u_q^{n+\frac{1}{3}} + \Delta t \pi \eta d u}{m + \Delta t \pi \eta d},$$

$$v_q^{n+\frac{2}{3}} = \frac{m v_q^{n+\frac{1}{3}} + \Delta t \pi \eta d v}{m + \Delta t \pi \eta d},$$

$$w_q^{n+\frac{2}{3}} = \frac{m w_q^{n+\frac{1}{3}} + \Delta t \pi \eta d w - mg \Delta t / 3}{m + \Delta t \pi \eta d}.$$

Так же, применив описанную выше процедуру к координате OZ , придем к следующему выражению:

$$u_q^{n+1} = \frac{m u_q^{n+\frac{2}{3}} + \Delta t \pi \eta d u}{m + \Delta t \pi \eta d},$$

$$v_q^{n+1} = \frac{m v_q^{n+\frac{2}{3}} + \Delta t \pi \eta d v}{m + \Delta t \pi \eta d},$$

$$w_q^{n+1} = \frac{m w_q^{n+\frac{2}{3}} + \Delta t \pi \eta d w - mg \Delta t / 3}{m + \Delta t \pi \eta d}.$$

III. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Временную динамику u_q, v_q, w_q , которые являются составляющими соответствующих скоростей вышеупомянутых частиц в направлениях x, y, z , можно увидеть на рисунках 1-3.

Был проведен ряд компьютерных экспериментов по изучению влияния скорости частиц вредных веществ на процесс миграции и диффузии вредных веществ в атмосфере.

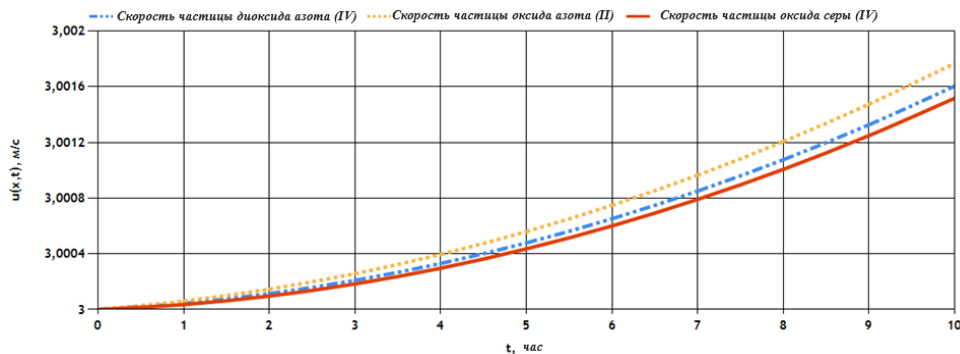


Рис. 1. Изменение скорости различных загрязняющих частиц во времени вдоль оси Ox с начальной скоростью $u_0 = 3$ м/с

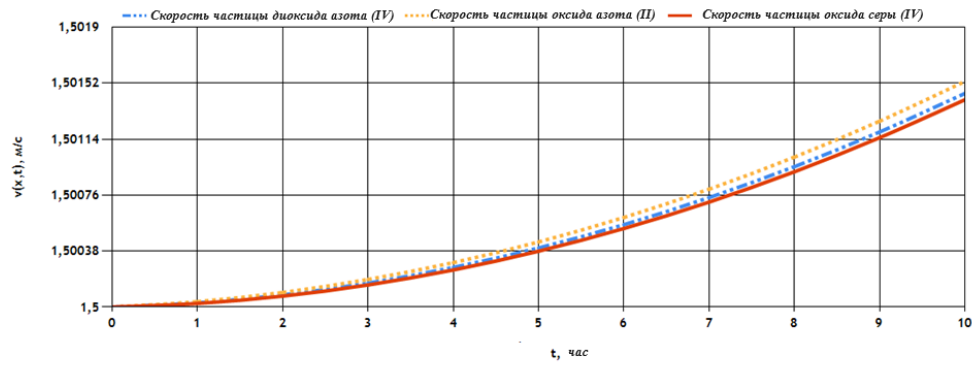


Рис. 2. Изменение скорости различных загрязняющих частиц во времени вдоль оси Oy с начальной скоростью $v_0 = 1,5$ м/с

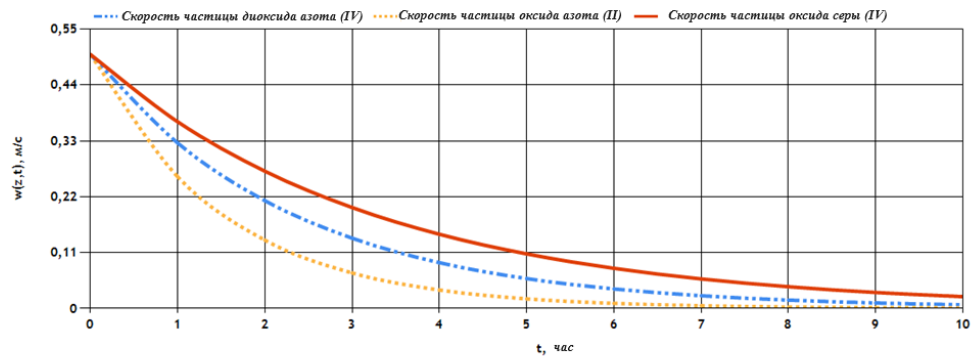


Рис. 3. Изменение скорости различных загрязняющих частиц во времени вдоль оси Oz с начальной скоростью $w_0 = 0,5$ м/с

На рисунках 1 - 3 представлена динамика изменения скоростей частиц u, v, w по направлениям x, y, z . В ходе вычислительных экспериментов были выбраны вредные вещества с различными физико-механическими свойствами. Сравнивая полученные результаты, можно сказать, что их физико-механические свойства очень важны при определении скорости частиц.

На рис. 1 представлены результаты вычислительных экспериментов по определению скорости частиц диоксида азота (IV), оксида азота (II) и серы по координате Ox по времени при $u_0 = 3$ м/с. По результатам проведенных вычислительных экспериментов, мы можем наблюдать, что скорость частиц вредных веществ со временем существенно увеличивается.

На рис. 2 представлены результаты вычислительных экспериментов по определению скорости частиц диоксида азота (IV), оксида азота (II) и серы по координате Oy по времени при $v_0 = 1,5$ м/с. Аналогичным образом, по результатам проведенных здесь вычислительных экспериментов, мы можем

наблюдать, что скорость частиц вредных веществ со временем существенно увеличивается.

На рис. 3 представлены результаты вычислительных экспериментов по определению скорости частиц диоксида азота (IV), оксида азота (II) и серы вдоль координаты Oz по времени при $w_0 = 0,5$ м/с. Аналогичным образом, по результатам проведенных здесь вычислительных экспериментов, мы можем наблюдать, что скорость частиц вредных веществ со временем существенно увеличивается.

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключении можно отметить что, на основании результатов, полученных в результате вычислительных экспериментов, подтверждено, что основную роль в движении вредных веществ по направлениям играют их физико-механические свойства. По результатам вычислительных экспериментов можно сделать вывод, что чем меньше массовая плотность частиц, тем выше их горизонтальная скорость и тем меньше вертикальная скорость.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Баходиров З. Перспективы моделирования ветровой эрозии // Перспективы развития науки в Узбекистане. 2022. С. 60-62.
- [2] Aminov S. et al. Numerical Study of Salt-Transfer Process in Soils // Int. J. Adv. Trends Comput. Sci. Eng. 2020. Vol. 9, № 5. P. 8469–8473.
- [3] Ахмедов Д.Д. Математическое и программное обеспечение информационно-аналитической системы мониторинга и прогнозирования загрязнения атмосферы. Ташкент, Узбекистан, 2021. 13-44 С.
- [4] Van Dop H., Steyn D.G. Air pollution modeling and its application VIII // Air pollution modeling and its application VIII. New York: Plenum Press, 1991. P. 259–289.
- [5] Shafiev T., Nazarov S. Studies of the influence of vegetation cover on the process of transfer and diffusion of harmful substances in the atmosphere // E3S Web of Conferences. EDP Sciences, 2023. Vol. 431.
- [6] Ravshanov N., Shafiev T.R., Daliev S. Study of the main factors affecting the spread of aerosol particles in the atmosphere // Journal of Physics: Conference Series. IOP Publishing Ltd, 2021. Vol. 1791, № 1.
- [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] Мурадов Ф.А. Модели, вычислительные алгоритмы и программные комплексы для мониторинга и прогнозирования процессов переноса и диффузии вредных веществ в атмосфере. Ташкент, Узбекистан, 2020.
- [9] Таитемирова Н.Н. Разработка математической модели и численных алгоритмов для прогнозирования процесса распространения вредных веществ в атмосфере с учетом эрозии почвы. Ташкент, Узбекистан, 2019. 5–22 с.
- [10] Ravshanov N., Daliev S.K., Tagaev O. Numerical simulation of two aquarius horizons // Int. J. Adv. Trends Comput. Sci. Eng. 2020. Vol. 9, № 4. P. 6549–6554.
- [11] 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.
- [12] Ravshanov N., Abdullaev Z., 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. P. 1–7.
- [13] Тихонов В.И., Самарский А.А. Уравнения математической физики. Москва: ФИЗМАТЛИТ, 1979. 742 С.
- [14] Шафиев Т. Математическая модель для мониторинга и прогнозирования процесса распространения аэрозольных частиц в атмосфере // Проблемы вычислительной и прикладной математики. 2020. № 1(25). С. 69–84.

Поступила в редакцию 08.06.2024

Цитирование: Шафиев Т.Р., Бобожонова М.А. (2024). Изучение основных факторов, влияющих на распространение вредных веществ в атмосфере. *Международный Журнал Теоретических и Прикладных Вопросов Цифровых Технологий*, 7(3), –С. 99-104. <https://doi.org/10.62132/ijdt.v7i3.202>

STUDY OF THE MAIN FACTORS AFFECTING THE DISTRIBUTION OF HARMFUL PARTICLES IN THE ATMOSPHERE

Shafiev T.R.¹, Bobojonova M.A.¹

¹ Bukhara State University, Bukhara, Uzbekistan

Abstract. *In the article, a study was conducted to comprehensively study the important factors affecting the process of migration and diffusion of harmful substances and dust particles in the atmosphere. The physical and mechanical properties of the considered particles are taken into account in the equation reflecting the process of dispersion of these harmful substances and dust particles in the atmosphere. To obtain the results of the research, computational experiments were conducted and graphs showing the dynamics of the movements of the particles in the x,y,z direction were presented.*

Keywords: *transport and diffusion of harmful substances, numerical experiment, equations of transport of harmful substances.*