

УДК 516.9

ВЛИЯНИЕ ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА НА КОЭФФИЦИЕНТ ПОГЛОЩЕНИЯ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРЕ

Мурадов Ф.А.¹

¹ Научно-исследовательский институт развития цифровых технологий
и искусственного интеллекта, Ташкент, Узбекистан
farrux1981@umail.uz

Аннотация. Математическое моделирование является основным методом и средством для понятия объектов, процессов и явлений происходящих в природе. Оно применяется во всех сферах науки, техники и в народном хозяйстве, в том числе при решении экологических проблем. Математическое моделирование в сложных системах применяется для решения комплексных нестационарных задач механики твердых тел, жидкостей и газов, а также задач массо и теплообмена. Кроме этого имеет важную роль в контроле многочисленных метеорологических показателей состояния регионов и атмосферного бассейна. Результаты численных расчётов для процессов переноса и диффузии вредных веществ в атмосфере показали, что существенное влияние в изменении концентрации вредных веществ оказывает коэффициент поглощения, этот коэффициент зависит от внешних факторов таких, как влажность и температура атмосферного воздуха, плотность атмосферы, насыщенность массы и другие. Поэтому в данной статье анализируется динамика изменения коэффициента поглощения вредных веществ в атмосфере относительно времени. Также подробно излагается изменение скорости осаждения частицы относительно влажности воздуха и времени.

Ключевые слова: математическая модель, время, влажность, коэффициент поглощения, температура, концентрация, вредных вещества, атмосфера, воздух.

I. ВВЕДЕНИЕ

Математическое моделирование является одним из основных способов и инструментов для понятия объектов, процессов и явлений происходящих в природе. Математическое моделирование применяется во всех областях науки, техники и образования, в том числе в пористых средах для решения сложных нестационарных задач механики твердых тел, жидкостей и газов, сепарации и фильтрации, а также массо- и теплообмена в пористых средах. Кроме того, многочисленные метеорологические параметры играют важную роль при мониторинге состояния территорий и атмосферных бассейнов.

При решении данной задачи создан метод, в котором применяется термин «способ К-распределения с коррелированием», «лебеговский способ усреднения сечений поглощения по частоте», для ускоренного вычисления поля излучения [1-4,6,7]. Основным смыслом метода формируется в классифицирование узких спектральных каналов по конкретному алгоритму, где каждый класс подменяется одним широким модельным каналом, называемым членом К-распределения. Следовательно, применяется

численное решение уравнения переноса излучения для каналов, в которых миллионы узких спектральных каналов сгущаются до нескольких десятков или нескольких сотен модельных каналов. Этот процесс создания каналов называется параметризацией молекулярного поглощения. Чтобы проверить его точность, результаты расчетов по модельным каналам сравниваются с эталонными расчетами.

Основное внимание в данной работе уделено эталонным расчетам поля теплового излучения атмосферы Земли в предположении горизонтально однородной атмосферы. Авторы выполнили эти расчеты с использованием параметризации оптических свойств атмосферы от поверхности до 76 км. Они варьировали количество модельных каналов на разных высотах и использовали метод дискретных ординат для решения уравнения радиационного переноса, как описано в ссылке [5]. В расчетах использовалась равномерная сетка высот с интервалом 200 м и сетка зенитных углов с интервалом менее 9 градусов, учитывающая эффекты молекулярного и аэрозольного рассеяния [8-13].

В статье [14] разработана модель процесса распространения вредных веществ в атмосфере

с учетом температуры и влажности воздуха, атмосферного давления и других метеорологических факторов, характерных для промышленной зоны. Для решения поставленной задачи в высокопроизводительных компьютерных системах применен численный параллельный алгоритм.

При одновременном и независимом воздействии молекулярного поглощения и аэрозольного ослабления энергия инфракрасного излучения уменьшается при распространении в атмосфере [15–22]. Численные характеристики рассеяния и поглощения трансформируются в зависимости от концентрации и распределения поглощающих газов и аэрозольных частиц, а также их химического состава и размера. В общем, сезонные изменения и время суток в значительной мере влияют на численные характеристики поглощения, рассеяния и, соответственно, на ослабления инфракрасного излучения.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Для определения коэффициента поглощения рассмотрим самое простое уравнение переноса вредных веществ в атмосфере: [23–26]:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} + \text{div} \vec{U} \theta + \sigma \theta = 0,$$

здесь σ – коэффициент поглощения или соотношение временных интервалов, при которых концентрация вредных веществ уменьшается в несколько раз по сравнению с их исходными значениями θ^0 .

Поглощение вредного вещества в окружающей среде изменяется в зависимости от погоды. Например, при сухой погоде вредные вещества поглощаются в атмосферу меньше и распространяются больше, а при высокой влажности или осадках вредные вещества поглощаются в атмосферу больше или выпадают на поверхность земли без распространения в атмосфере [23–26]. Рассмотрим изменение коэффициента поглощения σ при отсутствии источника загрязнения $f(x, y, z, t)$ и при значении составляющих скорости ветра $u=v=w=0$ в простом уравнении переноса уменьшения количества концентрации θ . Для этого рассмотрим следующее уравнение:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} + \sigma \theta = 0,$$

решение которого имеет вид:

$$\theta = \theta_0 e^{-\sigma t}.$$

III. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ

До начала проведения численных расчетов в атмосферу было выброшено некоторое количество вредного вещества. В течении часа вычислим значения коэффициента поглощения σ учитывая погодные климатические условия со значениями влажности 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80% и 90% следующим образом [23, 25, 26]:

$$\theta = \theta_0 e^{-\sigma t},$$

$$\ln \theta = -\sigma t + \ln \theta_0,$$

$$-\sigma t = \ln \theta - \ln \theta_0.$$

Значения коэффициента поглощения σ вредных веществ в течение часа ($t=3600$ сек) при различной влажности воздуха рассчитываются следующим образом:

1. При влажности воздуха 10% [23, 25, 26]:

$$\begin{aligned} -\sigma t &= \ln 9 - \ln 10 = \\ &= 2,1972 - 2,302585093 = -0,105360516, \\ -\sigma &= \frac{-0,105360516}{3600 \text{сек}} = -0,0000292668 \frac{1}{\text{сек}}, \\ \sigma &= 0,0000292668 \frac{1}{\text{сек}}; \end{aligned}$$

2. При влажности воздуха 20%:

$$\begin{aligned} -\sigma t &= \ln 8 - \ln 10 = 2,0794415417 - \\ &= -2,302585093 = -0,223143551, \\ -\sigma &= \frac{-0,223143551}{3600 \text{сек}} = -0,0000619843 \frac{1}{\text{сек}}, \\ \sigma &= 0,0000619843 \frac{1}{\text{сек}}; \end{aligned}$$

3. При влажности воздуха 30%:

$$\begin{aligned} -\sigma t &= \ln 7 - \ln 10 = 1,9459101491 - \\ &= -2,302585093 = -0,356674944, \\ -\sigma &= \frac{-0,356674944}{3600 \text{сек}} = -0,0000990764 \frac{1}{\text{сек}}, \\ \sigma &= 0,0000990764 \frac{1}{\text{сек}}; \end{aligned}$$

4. При влажности воздуха 40%:

$$\begin{aligned} -\sigma t &= \ln 6 - \ln 10 = 1,7917594692 - \\ &= -2,302585093 = -0,510825624, \\ -\sigma &= \frac{-0,510825624}{3600 \text{сек}} = -0,000141896 \frac{1}{\text{сек}}, \\ \sigma &= 0,000141896 \frac{1}{\text{сек}}; \end{aligned}$$

5. При влажности воздуха 50%:

$$\begin{aligned}
 -\sigma t &= \ln 5 - \ln 10 = 1,6094379124 - \\
 &-2,302585093 = -0,693147181, \\
 -\sigma &= \frac{-0,693147181}{3600 \text{сек}} = -0,0001925409 \frac{1}{\text{сек}}, \\
 \sigma &= 0,0001925409 \frac{1}{\text{сек}};
 \end{aligned}$$

6. При влажности воздуха 60%:

$$\begin{aligned}
 -\sigma t &= \ln 4 - \ln 10 = 1,3862943611 - \\
 &-2,302585093 = -0,916290732, \\
 -\sigma &= \frac{-0,916290732}{3600 \text{сек}} = -0,0002545252 \frac{1}{\text{сек}}, \\
 \sigma &= 0,0002545252 \frac{1}{\text{сек}};
 \end{aligned}$$

7. При влажности воздуха 70%:

$$\begin{aligned}
 -\sigma t &= \ln 3 - \ln 10 = 1,0986122887 - \\
 &-2,302585093 = -1,203972804, \\
 -\sigma &= \frac{-1,203972804}{3600 \text{сек}} = -0,000334437 \frac{1}{\text{сек}}, \\
 \sigma &= 0,000334437 \frac{1}{\text{сек}};
 \end{aligned}$$

8. При влажности воздуха 80%:

$$\begin{aligned}
 -\sigma t &= \ln 2 - \ln 10 = 0,6931471806 - \\
 &-2,302585093 = -1,609437912, \\
 -\sigma &= \frac{-1,609437912}{3600 \text{сек}} = -0,0004470661 \frac{1}{\text{сек}}, \\
 \sigma &= 0,0004470661 \frac{1}{\text{сек}};
 \end{aligned}$$

9. При влажности воздуха 90%:

$$\begin{aligned}
 -\sigma t &= \ln 1 - \ln 10 = \\
 &= 0 - 2,302585093 = -2,302585093, \\
 -\sigma &= \frac{-2,302585093}{3600 \text{сек}} = -0,000639607 \frac{1}{\text{сек}}, \\
 \sigma &= 0,000639607 \frac{1}{\text{сек}}.
 \end{aligned}$$

IV. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ

Вышеприведенные расчеты представим в графическом виде:

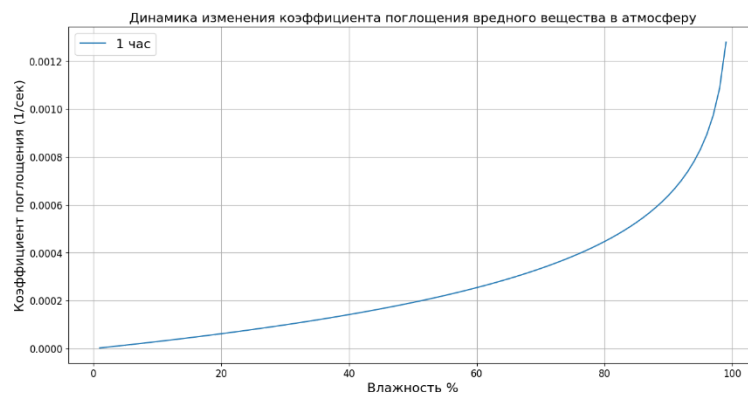


Рис. 1. Динамика изменения коэффициента поглощения вредного вещества в атмосфере в течение часа относительно влажности воздуха

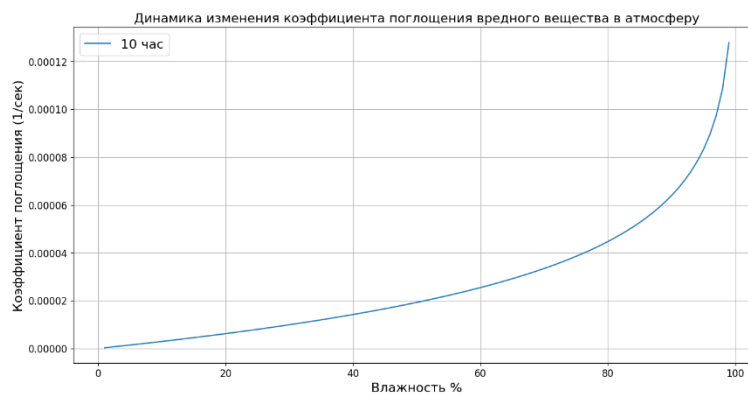


Рис. 2. Динамика изменения коэффициента поглощения вредного вещества в атмосфере в течение 10 часов относительно влажности воздуха

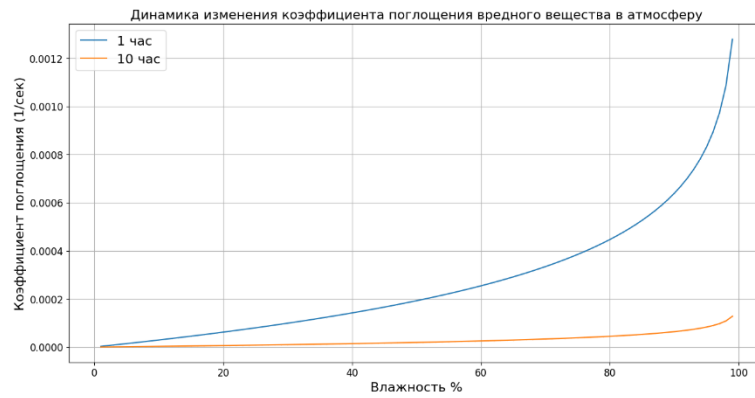


Рис. 3. Динамика изменения коэффициента поглощения вредного вещества в атмосфере в течение одного и десяти часов относительно влажности воздуха

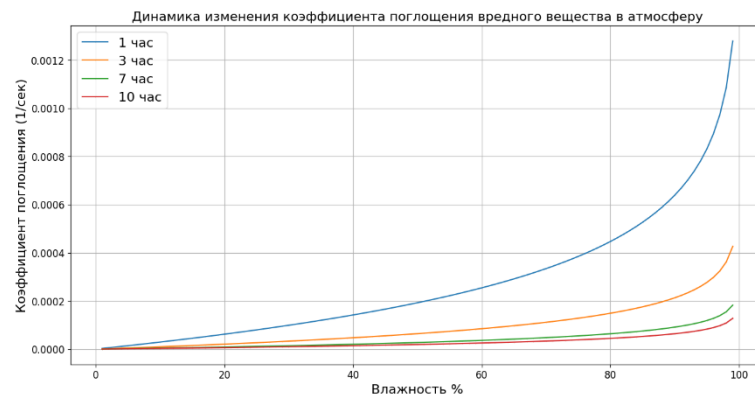


Рис. 4. Динамика изменения коэффициента поглощения вредного вещества в атмосфере в разное время (за $t=1$ ч, $t=3$ ч, $t=7$ ч и $t=10$ ч) относительно влажности воздуха

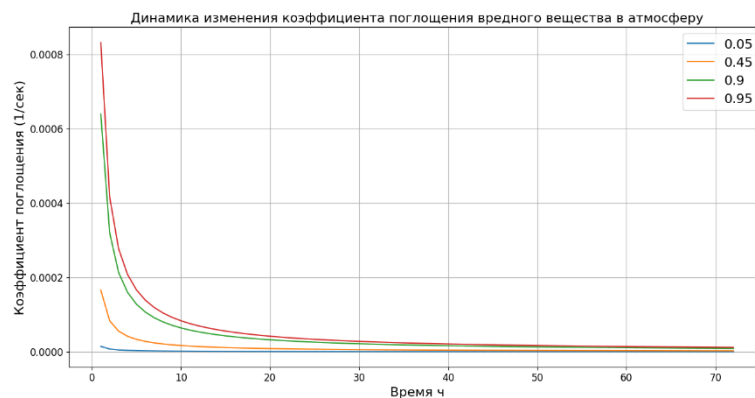


Рис. 5. Динамика изменения коэффициента поглощения вредного вещества в атмосфере в разных влажностях воздуха (при 5%, 45%, 90% и 95%) относительно времени

На рис. 1 показана динамика изменения коэффициента поглощения вредного вещества в атмосферу в течение одного часа, на рис. 2 - в течение десяти часов, на рис. 3 - в течение одного часа и десяти часов совместно по отношению к влажности воздуха. Из рис. 3 видно, что с течением времени коэффициент поглощения вредного вещества в атмосферу уменьшается, т.е. поглощение уменьшается.

Из вышеизложенного видно, что отношение между значениями σ и θ имеет обратно пропорциональное отношение. Также коэффициенты поглощения в разных погодных условиях принимают разные значения. Например, в сухую погоду при влажности воздуха 10% коэффициент поглощения вредного вещества в атмосферу равен

$\sigma = 0,000028 \frac{1}{сек}$, напротив, при сильных дождях или снегах, то есть при высокой влажности воздуха (например, влажность воздуха 90%) коэффициент поглощения вредного вещества в атмосферу равен $\sigma = 0,000657 \frac{1}{сек}$.

Для расчета коэффициента поглощения на основе анализа и статистической обработки долгосрочных метеорологических данных выявлена следующая синусоидальная зависимость [27-32]:

$$\sigma(t) = \sigma_0 + \Delta\sigma \sin \omega t,$$

где σ_0 – среднесуточная величина коэффициента поглощения вредных веществ в атмосферу; $\Delta\sigma$ – амплитуда суточного изменения коэффициента поглощения; ω – циклическая частота суточного изменения.

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Как видно из приведенных выше расчетных экспериментов, коэффициент поглощения в значительной степени зависит от изменения состояния атмосферной воздушной массы. При изменении коэффициента поглощения более 50% приводит к максимальному поглощению вредных веществ в атмосфере.

Результаты численных расчетов процессов переноса и распространения вредных веществ в атмосфере показали, что одним из основных факторов, влияющих на изменение концентрации вредных веществ, является коэффициент поглощения. Этот коэффициент зависит от внешних факторов, то есть от влажности и температуры атмосферной воздушной массы, плотности атмосферы, насыщенности массы и т.д.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Fomin B.A.* A k-distribution technique for radiative transfer simulation in inhomogeneous atmosphere: 1. FKDM, fast k-distribution model for the longwave // *J. Geophys. Res.* 2004. Vol. 109, D02110.
- [2] *Fomin B.A., Correa P.M.* A k-distribution technique for radiative transfer simulation in inhomogeneous atmosphere: 2. FKDM, fast k-distribution model for the shortwave // *J. Geophys. Res.* 2005. Vol. 110, D02106.
- [3] *Mlawer E.J., et al.* Radiative transfer for inhomogeneous atmospheres: RRTM, a validated correlated-k model for the longwave // *J. Geophys. Res.* 1997. Vol. 102, No. D14, P. 16,663-16,682.
- [4] *Hogan R.J.* The Full-Spectrum Correlated-k Method for Longwave Atmospheric Radiative Transfer Using an Effective Planck Function // *J. Atmos. Sciences.* 2010.
- [5] *Игнатьев Н.И., Мингалева И.В., Родин А.В., Федотова Е.А.* Новый вариант метода дискретных ординат для расчета собственного излучения в горизонтально однородной атмосфере // *ЖВМ и МФ*, 2015, т. 55, № 10, с. 109–123.
- [6] *Сушкевич Т.А.* Математические модели переноса излучения. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. 661 с.
- [7] *Шильков А.В., Герцев М.Н.* Верификация метода лебеговского осреднения // *Мат. моделирование.* 2015. Т. 27, № 8. С.13–31.
- [8] *Ленюль Ж.* Перенос радиации в рассеивающих и поглощающих атмосферах. Л: Гидрометиздат, 1990. 264 с.
- [9] *Нагурнер Д.И.* Лекции по теории переноса излучения: Учеб. пособие. СПб: Изд-во С.-Петербург. ун-та, 2001. 284 с.
- [10] *Тимофеев Ю.М., Васильев А.В.* Теоретические основы атмосферной оптики. СПб: Наука, 2003. 474 с.
- [11] *Fomin B.A.* Effective interpolation technique for line-by-line calculations of radiation absorption in gases // *J. Quant. Spectrosc. Rad. Transfer.* 1995. V. 53. P. 663-669.
- [12] *Evans K.F.* The Spherical Harmonics Discrete Ordinate Method for Three-Dimensional Atmospheric Radiative Transfer // *J. Of The Atm. Sciences.* 1998. V. 55. P. 429-446
- [13] *Stamnes K., et al.* Numerically stable algorithm for discrete-ordinate-method radiative transfer in multiple scattering and emitting layered media // *Applied Optics.* 1988. V.27. N.12. P. 2502-2509.
- [14] *Сухинов А., Хачунс Д., Чистяков А.* Математическая модель распространения примеси в приземном слое атмосферы и ее программная реализация на многопроцессорной вычислительной системе // *Вестник УГАТУ.* – 2015. – Т. 19, № 1(67). – С. 213-223.
- [15] *Тарасов В.В., Якушенков Ю.Г.* Инфракрасные системы «смотрящего» типа. – М.: Логос, 2004. – 444 с.
- [16] *Зуев В.Е.* Прозрачность атмосферы для видимых и инфракрасных лучей. – М.: Сов. радио, 1966. – 318 с.

- [17] *Госсорг Ж.* Инфракрасная термография. Основы, техника, применение: пер. с франц. – М.: Мир, 1988. – 416 с.
- [18] *Шипунов А.Г., Семашкин Е.Н.* Дальность действия, всеуточность и всепогодность телевизионных и тепловизионных приборов наблюдения. – М.: Машиностроение, 2011. – 218 с.
- [19] *Шипунов А.Г., Семашкин Е.Н.* Всепогодность радиолокационных и тепловизионных каналов наведения комплексов ПВО. – М.: Машиностроение, 2013. – 280 с.
- [20] *Тымкул В.М., Тымкул Л.В.* Оптико-электронные приборы и системы. Теория и методы энергетического расчета: учеб. пособие. – Новосибирск: СГГА, 2005. – 215 с.
- [21] *Тымкул Л.В., Тымкул В.М.* Системы инфракрасной техники: учеб. пособие. – Новосибирск: СГГА, 2007. – 164 с.
- [22] *Ллойд Дж.* Системы тепловидения: пер. с англ. – М.: Мир, 1978. – 414 с.
- [23] *Трухин В.И., Показеев К.В., Куницын В.Е.* Общая и экологическая геофизика. – М.: Физматлит, 2005. – 576 с.
- [24] *Марчук Г.И.* Математическое моделирование в проблеме окружающей среды. – М.: Наука, 1982. – 320 с.
- [25] *Мурадов Ф.А., Рашидова Д.Э., Зокиров М.К.* Зависимость количества аэрозоля от коэффициента поглощения // Теория и практика современной науки : международный научно-практический журнал. – 2018. – № 2(32). – С. 268-271.
- [26] *Мурадов Ф.А.* Ютилиш коэффициентли аралашмалар миьдорининг қарамлиги. // Фан, таълим ва ишлаб чиқариш интеграциясида ахборот-коммуникация технологияларини қўллашнинг ҳозирги замон масалалари: Республика илмий-техник анжуманининг маърузалар тўплами. – Нукус, 2015, Б. 392-394.
- [27] *Равианов Н., Таиттемирова Н., Равианов З.* Исследование распространений вредных выбросов в атмосферу в зависимости от суточных изменений погодных метеорологических факторов // Узб. журнал «Проблемы информатики и энергетики». – Ташкент, 2012. – № 1. – С. 9-15.
- [28] *Равианов Н., Шарипов Д.К., Тоиттемирова Н.* Компьютерное моделирование процесса распространения аэрозольных выбросов в атмосфере // Проблемы вычислительной и прикладной математики. – Ташкент, 2015. – № 1. – С. 16-27. – <http://goo.gl/75uzYF>.
- [29] *Равианов Н., Шарипов Д.К., Тоиттемирова Н.* Математическое моделирование контроля и прогнозирования экологического состояния промышленных регионов // Проблемы анализа и моделирования региональных социально-экономических процессов: материалы докладов IV Международной научно-практической конференции. Казань, 16-17 мая 2013 г. – Казань: Изд-во «Отечество», 2013. – С. 179-182.
- [30] *Равианов Н., Шарипов Д.К., Тоиттемирова Н.Н.* Математическая модель для контролирования санитарной нормы региона и оптимального размещения новых промышленных объектов // Отраслевые аспекты технических наук. – Москва: Изд-во ИНГН, 2012. – 2012. – № 6(18). – С. 5-9.
- [31] *Шарипов Д.К., Тоиттемирова Н.* Компьютерное моделирование процесса переноса и диффузий аэрозольных выбросов в атмосфере // Информатика: проблемы, методология, технологии: материалы XIII международной научно-методической конференции. – Воронеж, 2013. – Том 3. – С. 427-432.
- [32] *Sharipov D., Aynakulov Sh., Khafizov O.* Computer Modeling of Aerosol Emissions Spread in the Atmosphere // E3S Web of Conferences. – 2019. – Vol. 97, 05023. – DOI: 10.1051/e3sconf/20199705023.

Поступила в редакцию 28.08.2024

Цитирование: *Мурадов Ф.А.* (2024). Влияние влажности воздуха на коэффициент поглощения вредных веществ в атмосфере. *Международный Журнал Теоретических и Прикладных Вопросов Цифровых Технологий*, 7(4), –С. 13-19. <https://doi.org/10.62132/ijdt.v7i4.213>

THE IMPACT OF AIR HUMIDITY ON THE ABSORPTION COEFFICIENT OF HARMFUL SUBSTANCES IN THE ATMOSPHERE

Muradov F.A.¹

¹ Digital Technologies and Artificial Intelligence Research Institute,
Tashkent, Uzbekistan
farrux1981@umail.uz

Abstract. *Mathematical modeling is the main method and means for understanding objects, processes, and phenomena occurring in nature. It is used in all areas of science, technology, and the national economy, including solving environmental problems. Mathematical modeling in complex systems is used to solve complex non-stationary problems of mechanics of solids, liquids, and gases, as well as problems of mass and heat exchange. In addition, it plays an important role in monitoring numerous meteorological indicators of the state of regions and the atmospheric basin. The results of numerical calculations for the processes of transfer and diffusion of harmful substances in the atmosphere showed that the absorption coefficient has a significant effect on the change in the concentration of harmful substances; this coefficient depends on external factors such as humidity and temperature of atmospheric air, atmospheric density, mass saturation, and others. Therefore, this article analyzes the dynamics of changes in the absorption coefficient of harmful substances in the atmosphere relative to time. The change in the particle deposition rate relative to air humidity and time is also described in detail.*

Keywords: *mathematical model, time, humidity, absorption coefficient, temperature, concentration, harmful substances, atmosphere, air.*