

Impact Factor:

ISRA (India) = 1.344	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
ISI (Dubai, UAE) = 0.829	PIHII (Russia) = 0.207	PIF (India) = 1.940
GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 4.102	IBI (India) = 4.260
JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 2.031	

SOI: [1.1/TAS](#) DOI: [10.15863/TAS](#)

International Scientific Journal Theoretical & Applied Science

p-ISSN: 2308-4944 (print) e-ISSN: 2409-0085 (online)

Year: 2018 Issue: 05 Volume: 61

Published: 30.05.2018 <http://T-Science.org>

Daler Sharipov
Senior Researcher, PhD,
Scientific And Innovation Center
of Information and Communication Technologies
Tashkent, Uzbekistan
gushqor@mail.ru

Sayfulla Alibekov
assistant professor, Ph.D. Tashkent State
Agrarian University,
Tashkent, Uzbekistan

Ugilyo Orifjanovav
assistant professor, Ph.D. Tashkent State
Pedagogical University named after Nizami,
Tashkent, Uzbekistan

SECTION 2. Applied mathematics. Mathematical modeling.

COMPUTER MODELING OF SPREADING OF HARMFUL SUBSTANCES IN THE ATMOSPHERE TAKING INTO ACCOUNT THE LOCAL

Abstract: The paper considers a mathematical model for study, forecast and decision making on the process of spreading harmful aerosol substances in the atmosphere. In order to derivate the mathematical model there were taken into account the main parameters affecting the process such as weather and climate factors, the terrain of considered region. Changes in the direction and speed of the wind are calculated by using the Navier-Stokes equation for the variables of vorticity-stream function. To conduct computational experiments, the proposed software was implemented as a software tool in the Borland C ++ Builder environment. The results of the numerical calculations are given in the form of graphic objects.

Key words: mathematical model, transport and diffusion of harmful substances, software, computational experiment, Navier-Stokes equation, vorticity-stream function.

Language: Russian

Citation: Sharipov D, Alibekov S, Orifjanovav U (2018) COMPUTER MODELING OF SPREADING OF HARMFUL SUBSTANCES IN THE ATMOSPHERE TAKING INTO ACCOUNT THE LOCAL. ISJ Theoretical & Applied Science, 05 (61): 386-392.

Soi: <http://s-o-i.org/1.1/TAS-05-61-66> **Doi:**  <https://dx.doi.org/10.15863/TAS.2018.05.61.66>

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРЕ С УЧЕТОМ РЕЛЬЕФА МЕСТНОСТИ

Аннотация: В работе рассматривается математическая модель для исследования, прогнозирования и принятия управленческих решений по процессу распространения вредных аэрозольных веществ в атмосфере. При выводе математической модели объекта учитываются основные погодно-климатические факторы, действующие на процесс переноса и диффузии вредных веществ, а также рельеф местности рассматриваемого региона. Изменения направления и скорости ветра рассчитываются путем использования уравнения Навье - Стокса переменных функции тока и вихря скоростей. Для проведения вычислительных экспериментов предложенное математическое обеспечение было реализовано в виде программного средства в среде Borland C++ Builder. Результаты проведенных численных расчетов приведены в виде графических объектов.

Ключевые слова: математическая модель, перенос и диффузии вредных веществ, программное средство, вычислительный эксперимент, уравнение Навье-Стокса, функция тока - вихря.

Введение.

Так как экология атмосферы – один из важнейших показателей состояния окружающей среды, то указанные обстоятельства ставят необходимость осуществления прогнозов концентрации примесей в приземном слое

атмосферы для различных временных рамок. В частности, практический интерес представляют краткосрочные прогнозы, связанные с предусмотренным предельно-допустимой нормы концентрации вредных примесей при проектировании сооружений новых предприятий.



Impact Factor:

ISRA (India) = 1.344	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
ISI (Dubai, UAE) = 0.829	ПИИЦ (Russia) = 0.207	PIF (India) = 1.940
GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 4.102	IBI (India) = 4.260
JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 2.031	

Загрязнение приземного слоя атмосферы и подстилающей поверхности, включая перенос и диффузию вредных веществ, а также их осаждение и концентрацию – это весьма сложный процесс, подверженный влиянию многих факторов, в том числе, географических и погодно-климатических условий, характерных для того или иного рассматриваемого региона. Причем, здесь важно учитывать тот факт, что метеорологические условия изменяются в течение суток и зависимости от рельефа местности.

Проблема математического моделирования процесса переноса и диффузии вредных веществ в пограничном слое атмосферы активно решается многими учеными в Узбекистане и за рубежом занимаются многие ученые. По тематике указанной проблемы такими выдающимися исследователями как Г.И. Марчук, М.И. Лунев, М.Е. Берлянд, В.В. Пененко, В.М. Белолипецкая, Ф.Б. Абуалиев, С.К. Каримбердиева, и др. были созданы целые научные школы, эффективно работающие сегодня.

В частности, работа [1] посвящена разработке математической модели динамики и кинетики процесса переноса и диффузии газовых и аэрозольных примесей в атмосфере.

В работе [2] приведено разработанное математическое обеспечение процесса размещения пожароопасных объектов и их оптимизации с учетом рельефа местности и пространственной формы.

Авторы [3] проводили исследование на основе разработанных региональных моделей процесса диффузии веществ, описываемых уравнением молекулярной теплопроводности в активном слое почвы с учетом теплового баланса подстилающей поверхности. Авторами исследованы экологические проблемы, связанные с распределением загрязняющих веществ от известных источников и определением вероятного местонахождения источника.

Процесс переноса и диффузии вредных веществ в атмосфере с учетом различных погодно-климатических факторов и внешних возмущений был рассмотрен в работе [4].

Работа [5] посвящена процессу дисперсии и диффузии химически активных первичных загрязняющих веществ, выбрасываемых из повышенных линейных источников в стабильный пограничный слой атмосферы с обобщенной скоростью ветра и квадратичной функцией вертикальной высоты. Авторами было предложено точное решение поставленной задачи с помощью преобразования Лапласа с учетом происходящей химической реакции, изменением агрегатного состояния частиц и их осаждения на подстилающую поверхность.

Важные результаты по численному моделированию процессов турбулентности и диффузии примесей в приземном слое атмосферы содержатся в работах Д.Л. Лайхтмана [6].

Значительные достижения в области математического моделирования атмосферных процессов содержатся в работах А.Е. Алояна [7]. В частности, автор рассматривает математическую модель переноса многокомпонентной примеси с учетом фотохимической трансформации и образования аэрозолей в тропосфере.

Основные подходы к разрешению проблемы идентификации аэрозолей различного происхождения и результаты исследований изложены в работе В.К. Данченко и Т.С. Ивлева [8].

В работах Г.И. Марчука и его последователей [9] разработана полноценная методология математического моделирования, исследованы её фундаментальные вопросы и предложены оригинальные конструктивные подходы к изучению циркуляции атмосферы и океана, а также к решению с помощью математических моделей задач прогноза погоды, теории климата и охраны окружающей среды.

На сегодняшний день, влияние скорости ветра на распространение вредных веществ было рассмотрено в работах профессора Ф.Н. Ясинского [10]. Учет функции тока и вихря скоростей рассмотрен в работах Р.В. Майера и его учеников [11].

Постановка задачи.

Для математического моделирования процесса переноса и диффузии вредных веществ в атмосфере рассмотрим двумерное уравнение переноса и диффузии вредных веществ в атмосфере с учетом оротографии поверхности земли как первую краевую задачу [12-13]:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial \varphi}{\partial t} + \\ & + u \frac{\partial \varphi H}{\partial x} + (w - w_g) \frac{\partial \varphi H}{\partial z} + \sigma \varphi H = \quad (1) \\ & = \mu \frac{\partial^2 \varphi H}{\partial x^2} + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda H \frac{\partial \varphi}{\partial z} \right) + \delta_{i,k} f, \end{aligned}$$

со следующими начальными и граничными условиями

$$\varphi(x, y, z, t) \Big|_{t=0} = \varphi_0(x, y, z), \quad (2)$$

Impact Factor:

ISRA (India) = 1.344	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
ISI (Dubai, UAE) = 0.829	ПИИЦ (Russia) = 0.207	PIF (India) = 1.940
GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 4.102	IBI (India) = 4.260
JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 2.031	

$$\alpha_1 (\varphi - \varphi_{ok}) \Big|_{x=0} + \beta_1 \frac{\partial \varphi}{\partial x} \Big|_{x=0} = 0, \quad (3)$$

$$\alpha_2 (\varphi - \varphi_{ok}) \Big|_{x=L_1} + \beta_2 \frac{\partial \varphi}{\partial x} \Big|_{x=L_1} = 0, \quad (4)$$

$$\lambda \frac{\partial \varphi}{\partial z} - H \beta \varphi = -H f_0 \quad \text{при } z = 0, \quad (5)$$

$$\alpha_3 (\varphi - \varphi_{ok}) \Big|_{z=L_2} + \beta_3 \frac{\partial \varphi}{\partial x} \Big|_{z=L_2} = 0, \quad (6)$$

Здесь φ_0 , φ_{ok} , φ – первоначальная концентрация, концентрация на границах области, концентрация рассматриваемой области в атмосфере; u , w – скорость ветра по двум направлениям определяется из уравнения Навье-Стокса; w_g – скорость осаждения частиц; σ – коэффициент поглощения; β – коэффициент подстилающей поверхности; μ , λ – коэффициенты диффузии и турбулентности; $\delta_{i,k}$ – функция Дирака; f , f_0 – источники выброса вредных веществ из промышленных объектов и поселяющей поверхности земли. Параметры

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \beta_1, \beta_2, \beta_3$ в уравнениях (3)-(6) задаются в зависимости от постановки задачи и могут быть принимать значение 0 или 1. H – параметр для определения рельефа местности, искомый при помощи соотношения, L_1, L_2 – длины области решения задачи, соответственно по x и z .

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

Здесь η – высота возвышенности под плоскостью, параллельной уровню моря, а $\Delta z = z_{k+0,5} - z_{k-0,5}$.

Для каждого слоя модели вводится множитель H ($0 \leq H \leq 1$), определяющий степень блокирования воздушного потока (рис. 1).

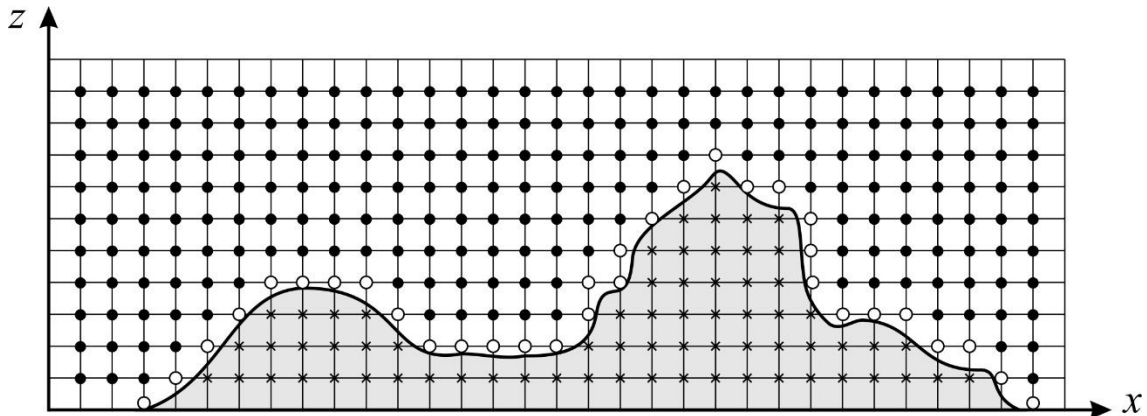


Рис. 1. Рельеф местности вдоль области переноса аэрозольных выбросов.

$$\bigcirc - H = (\eta - z_{K-0,5}) / \Delta z, \quad \times - H = 0, \quad \bullet - H = 1.$$

Для определения скорости ветра используем уравнения Навье - Стокса:

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + w \frac{\partial u}{\partial z} &= \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \\ &+ v \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right), \\ \frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + w \frac{\partial w}{\partial z} &= \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \\ &+ v \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right), \\ \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial z} &= 0. \end{aligned} \right. \quad (7)$$

Перейдем к системе уравнений Навье-Стокса в переменных функции тока и вихря скорости. Введем функцию тока такую, что:

$$u = \frac{\partial \psi}{\partial z}, \quad w = \frac{\partial \psi}{\partial x}. \quad (8)$$

Движение двумерное, а вектор завихренности перпендикулярен плоскости рисунка и равен:

$$\omega = \frac{\partial u}{\partial z} - \frac{\partial w}{\partial x} = \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2}. \quad (9)$$

Предположим, что градиент давления отсутствует. Если первое уравнение из системы Навье - Стокса продифференцировать по z , второе по x , то получим:

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} + u \frac{\partial \omega}{\partial x} + w \frac{\partial \omega}{\partial z} = v \left(\frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \omega}{\partial z^2} \right) \quad (10)$$

Последние три уравнения и составляют систему «функция тока – вихрь скорости».

Граничные условия для уравнений (7)-(10) задаются как на рис. 2.

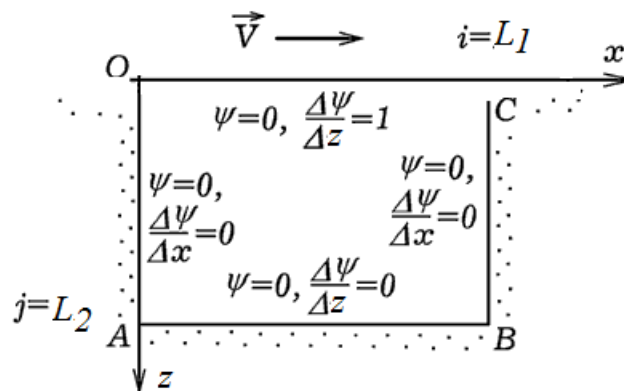


Рис. 2. Граничные условия и движение воздуха в замкнутом пространстве с открытой поверхностью.

Метод решения.

Из постановки задачи (1)-(6) и уравнений (7)-(10) следует, что получить аналитическое решение затруднительно. Поэтому, для численного интегрирования задачи разработан численный алгоритм, основанный на замене дифференциальных операторов на конечно-разностные [14-15].

Проведенные исследования процесса распространения вредных веществ в атмосфере показали, что в зависимости от скорости воздушного потока и его направления динамика изменения концентрации примесей в атмосфере существенно колеблется по времени за счёт функции тока – вихря скорости на поверхности земли.

Вычислительный эксперимент и анализ численных расчетов.

На основе представленной математической модели и численного алгоритма было разработано программное средство на языке Borland C++ Builder. Данная программа позволяет рассчитать двумерное движение воздушного потока в замкнутом пространстве с открытой поверхностью при различных скоростях и направлениях ветра.

На рис. 3 показано получающееся распределение функции тока. Границы разного оттенка соответствуют линиям тока. В принципе несложно построить линии тока, запустив внутрь полости частицы-маркеры.

Impact Factor:

ISRA (India) = 1.344	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
ISI (Dubai, UAE) = 0.829	ПИИЦ (Russia) = 0.207	PIF (India) = 1.940
GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 4.102	IBI (India) = 4.260
JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 2.031	



Рис. 3. Границы разного оттенка серого соответствуют линиям тока.

Программное средство имеет модульную структуру. Основной модуль предназначен для подготовки и ввода основных параметров процесса (скорость воздушной массы, коэффициент диффузии, коэффициент поглощения вредных веществ в атмосфере,

мощность источника, время расчета на ЭВМ, шаг интегрирования по времени и пространственным переменным, вид ингредиента, координаты эмиттера вредных веществ).

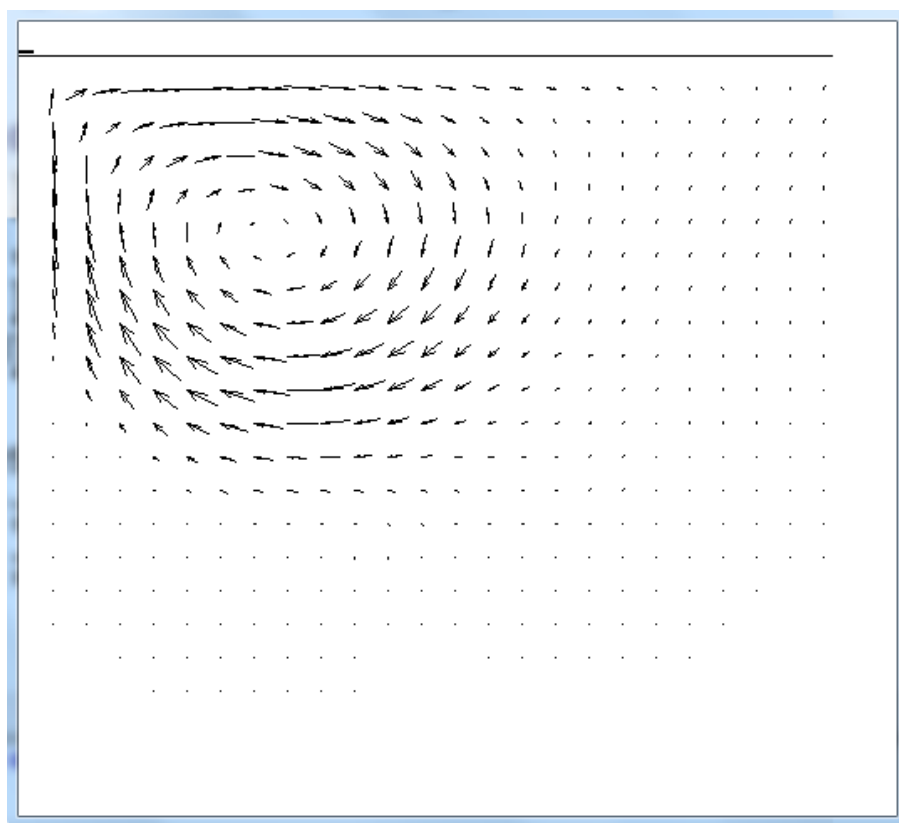


Рис. 4. Результаты расчета направления и скорости ветра в зависимости от переменных функции тока и вихря скоростей.

Impact Factor:

ISRA (India) = 1.344	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
ISI (Dubai, UAE) = 0.829	ПИИЦ (Russia) = 0.207	PIF (India) = 1.940
GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 4.102	IBI (India) = 4.260
JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 2.031	

Выводы.

Таким образом, программное средство, разработанное на основе приведенного выше математического обеспечения исследуемой проблемы, позволяет вычислить следующие показатели:

- границы областей, соответствующих линиям тока;
- направление и скорость ветра, в зависимости от переменных функции тока и вихря скоростей.
- количество аэрозолей, выпавших на подстилающую поверхность;
- количество аэрозолей, выпавших на подстилающую поверхность в определенный момент времени в заданной точке.

Проведенными вычислительными экспериментами установлено, что изменение концентрации аэрозолей в атмосфере зависит от коэффициента поглощения частиц, который меняется в зависимости от метеорологических показателей, сезона и времени суток.

Установлено, что на изменение концентрации аэрозольных выбросов в атмосфере непосредственно влияют направление и скорость воздушного потока в атмосфере, масса частиц, местонахождение и число аэрозольных генераторов в рассматриваемом регионе. С увеличением мощности аэрозольных генераторов растет площадь области, где концентрация превышает допустимую санитарную норму.

Результаты моделирования выявили, что в изменении скорости и направлении ветров существенную роль играют возвышенности – холмы или горные хребты, находящиеся на открытом ландшафте. Над возвышенностями скорость ветра выше по сравнению с окружающей равнинной территорией. Так как область высокого давления фактически расширяется на некотором расстоянии до возвышенности, ветер изменяет свое направление прежде, чем достигнуть ее. Если воздушная масса встречается с крутым холмом с неровной поверхностью, то скорость ветра резко увеличивается, что приводит к росту коэффициента турбулентности. Скорость ветра возрастает с увеличением перепада атмосферного давления, а скорость воздушного потока падает у земли вследствие трения о шероховатости подстилающей поверхности.

Анализ проведенных вычислительных экспериментов показывает, что при прогнозировании загрязнения атмосферы, особую роль играет учет коэффициента взаимодействия с подстилающей поверхностью;

Программное средство может быть успешно использовано для исследования, анализа и прогнозирования процесса распространения вредных веществ в атмосфере.

References:

1. Aloyan A.E. (2002) Dinamika i kinetika gazovykh primesey i aerorozley v atmosfere. – M.: IVM RAN, 2002. – 201 p.
2. Chub A.I. (2013) Matematicheskaya model' optimizatsionnoy zadachi razmeshcheniya pozharo-opasnykh ob'ektov s uchetom rel'efa oblasti razmeshcheniya // Radioelektronika, informatika, upravlinnya vypusk. – 2013. – № 1. – p. 88-93.
3. Kordzadze A. (2007) Mathematical modelling of dynamical and ecological processes in the system sea-land-atmosphere // Air, Water and Soil Quality Modelling for Risk and Impact Assessment. – 2007. – p. 181-193.
4. Sharan M., Gopalakrishnan S.G. (2003) Mathematical modeling of diffusion and transport of pollutants in the atmospheric boundary layer // January pure and applied geophysics. – 2003. – Vol. 160. – Issue 1-2. – p. 357-394.
5. Khan Y., Shekhu M., Sulochana C. (2013) Mathematical model for dispersion and diffusion of chemically reactive pollutants from various sources into a boundary layer with dry deposition // Engineering Computations. – 2013. – Vol. 30. – Issue 5. – p. 707 – 727.
6. Laytkhman D.L. (1970) Fizika pograničnogo sloya atmosfery. – 2-e izd. – L.: Gidrometeoizdat, 1970. – 341 p.
7. Aloyan A.E. (2000) Matematicheskoe modelirovanie vzaimodeystviya gazovykh primesey i aerorozley v atmosferykh dispersnykh sistemakh // Vychislitel'naya matematika i matematicheskoe modelirovanie : materialy mezhdunar. konf. T.1. – M., 2000. – p. 214-230.



Impact Factor:

ISRA (India) = 1.344	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
ISI (Dubai, UAE) = 0.829	PIHII (Russia) = 0.207	PIF (India) = 1.940
GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 4.102	IBI (India) = 4.260
JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 2.031	

8. Danchenko V.K., Ivlev L.S. (2001) Ob identifikatsii aerorozley raznogo proiskhozhdeniya // Estestvennye i antropogennye aerozoli : materialy 3-y mezhdunarodnoy konferentsii. – SPb., 2001. – p.41-52.
9. Marchuk G.I. (1982) Matematicheskoe modelirovanie v probleme okruzhayushchey sredy. – M.: Nauka, 1982. – 319 p.
10. Yasinskiy F.N., Kokorin A.S. (2010) Matematicheskoe modelirovanie protsessov ventilyatsii i otopeniya v bol'shikh proizvodstvennykh, kul'turnykh i sportivnykh pomeshcheniyakh. Zhurnal «Vestnik IGEU» № 3. 2010
11. Mayer, R. V. (2012) Zadachi, algoritmy, programmy / R. V. Mayer [Elektronnyy resurs]. - Glazov: GGPI, 2012 // Web-site <http://maier-rv.glazov.net>
12. Ravshanov, N. (2015) Modelirovaniya protsessa zagryazneniya okruzhayushchey sredy s uchetom rel'efa mestnosti pogodno-klimaticheskikh faktorov / N. Ravshanov, D.K. Sharipov, D. Akhmedov // Informatsonnye tekhnologii modelirovaniya i upravleniya. – Voronezh, 2015. – №3. – p. 222-235
13. Ravshanov N, Sharipov D, Muradov F (2016) Computational Experiment For Forecasting And Monitoring The Environmental Condition Of Industrial Regions. ISJ Theoretical & Applied Science, 03 (35): 132-139.
14. Sharipov D (2016) Developing Of Model And Web Application For Forecasting Of Ecological State Of The Atmosphere. ISJ Theoretical & Applied Science, 08 (40): 58-69.
15. Sharipov D.K. (2017) Matematicheskaya model' i vychislitel'nyy eksperiment dlya monitoringa i prognozirovaniya ekologicheskogo sostoyaniya pogranchnogo sloya atmosfery / D.K. Sharipov, F. Muradov, Z.N.Ravshanov // Problemy vychislitel'noy i prikladnoy matematiki. – Tashkent, 2017. – №6(12). – p. 15-28.

