

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И МОНИТОРИНГ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИЗЕМНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ ГОРНОПРОМЫШЛЕННОГО РЕГИОНА

*Тимофеева С.С., Иркутский национальный исследовательский технический университет, доктор технических наук, заслуженный профессор.*

*Ботиров Т.В., Навоийский государственный горный институт, д.т.н., профессор кафедры «Автоматизация и управления»*

*Мусаев М.Н., Ташкентский государственный технический университет, профессор, зав. кафедрой БЖД*

*Бобоев А.А. Навоийский государственный горный институт старший преподаватель кафедры «Автоматизация и управления»  
Email: azizjon.boboyev@bk.ru.*

**Аннотация.** Maqolada tog'- kon sanoati sohasidagi atmosferaning sirt qatlami ifloslanishini monitoring va matematik modelini ishlab chiqishning yangi yondashuvi keltirilgan. Tavsiya etilgan modellar tizimi, katta masshtablarga ega bo'lgan turli omillarning havo harakati va atmosferadagi ifloslantiruvchi moddalar kontsentratsiyasining shaxsiy kompyuterlarda o'rganishga imkon beradi.

**Калит сўзлари:** monitoring, atrof-muhitni muhofaza qilish, prognozlash, model, toksiklik, konsentratsiya, ifloslantiruvchi moddalar, chang

**Аннотация.** В статье приведен новый подход к разработке математической модели и мониторинга загрязнения приземного слоя атмосферы горнопромышленного региона. Предложенные система моделей, адаптированная к различным пространственным масштабам, позволяет исследовать влияние различных факторов на движение воздуха и поля концентрации загрязняющих веществ в атмосфере на персональных ЭВМ.

**Ключевые слова:** мониторинг, охрана окружающей среды, прогнозирование, модель, токсичность, концентрация, загрязняющие вещества, пыль.

**Annotation.** The article presents a new approach to the development of a mathematical model and monitoring of pollution of the surface layer of the atmosphere of a mining region. The proposed system of models, adapted to different spatial scales, allows us to study the influence of various factors on the movement of air and the concentration fields of pollutants in the atmosphere on personal computers.

**Key words:** monitoring, environmental protection, forecasting, model, toxicity, concentration, pollutants, dust.

### ВВЕДЕНИЕ

В последние годы проблема обеспечения экологической безопасности стала особенно остро. Основной причиной этого является рост промышленности во всем мире. Мониторинг и прогноз состояния экологической обстановки в горнопромышленном регионе были и остаются важными научно практическими задачами. Прогнозирование, мониторинг и оценка загрязнения атмосферы и



подстилающей поверхности пассивными и активными примесями, размещения промышленных предприятий с соблюдением санитарных норм загрязнения горнопромышленного региона являются актуальными в проблеме охраны окружающей среды [1-3].

При построении моделей качества воздуха используют математические и численные методы для моделирования физических и химических процессов, которые влияют на распространение веществ в атмосфере. Основываясь на метеорологических данных и информации источника выбросов эти модели характеризуют как первичные загрязняющие вещества, которые попадают непосредственно в атмосферу, так и вторичные загрязнители, которые образуются в результате сложных химических реакций в атмосфере.[2,5] Эти модели очень важны для системы управления качеством атмосферного воздуха, так как они помогают контролировать выбросы в атмосферу, прогнозировать их распространение и разрабатывать эффективные стратегии по сокращению вредных веществ в атмосфере.

В рамках среднего промышленного региона может существовать до миллиона источников выбросов вредных веществ. Вредные вещества попадают в атмосферный воздух, воду, почву, а затем в живые организмы, в том числе и в человека. Для оценки или прогнозирования распространения вредных веществ во времени и пространстве, используются модели, основанные на численных или аналитических решениях общего уравнения диффузии. Эти модели известны также как модели атмосферной дисперсии. Модели атмосферной дисперсии очень важны для системы управления качеством атмосферного воздуха, так как они помогают контролировать выбросы в атмосферу, прогнозировать их распространение и разрабатывать эффективные модели [6]. Существенное расширение применение моделей позволяет давать оценку качеству окружающей среды. К настоящему времени разработано достаточно большое количество таких моделей, наиболее популярными среди которых являются модели Берлянда, Эйлера, Лагранжа. Однако все они обладают рядом недостатков, среди которых отсутствие способности работать с динамикой (не учитывается изменение направления и скорости ветра), отсутствие учета рельефных особенностей.

Не смотря на обширность проведенных исследований, к настоящему времени не существует общепринятой модели распространения примесей в атмосфере. Это объясняется сложностью и разнообразием процессов, а также субъективными факторами. Поэтому существует множество моделей самых различных типов.

Количество и характер моделей определяются, с одной стороны, кругом задач, стоящих перед экологическими службами, а с другой - требованиями к точности моделирования. Разнообразие требований к характеру оценок загрязнения и высокая специфичность распространения выбросов примесей в различных метеоусловиях приводят к необходимости использования тех или иных моделей.

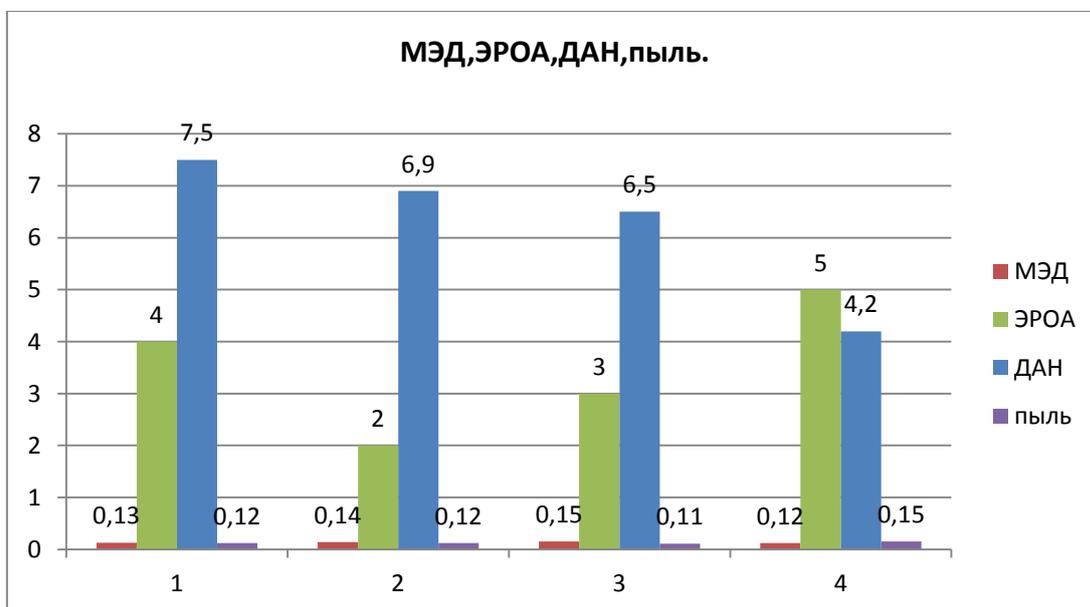
При построении моделей является необходимость учета реакции объекта, подвергающегося воздействию облака выбросов. Характер реакции объекта зависит от его свойств, типа и концентрации токсичного вещества и продолжительности его воздействия. Объектом может быть и персонал или промышленное предприятие. Выбор модели определяется характером необходимой оценки.

Комплекс синоптико-статистических моделей и автоматизированного прогнозирования неблагоприятных метеорологических условий, предназначенный для оценки и прогнозирования уровней загрязнения атмосферного воздуха, а также принятия решения по атмосфера охранной деятельности как в краткосрочном, так и в долгосрочном аспектах. Для получения методик с высоким качеством прогнозирования необходимы исследования по диагностике погодных процессов синоптического масштаба, приводящих к реализации этого модели, и на основе этих



исследований создание классификации синоптических процессов. Разработка расчётных моделей базируется на многомерном статистическом аппарате. Построение прогностических зависимостей основано на теории решения некорректных задач, что позволяет получать устойчивые решения при наличии коррелированности параметров, описывающих синоптическую ситуацию. Прогностическая система включает в себя: приём и обработку метеорологической информации из каналов связи, контроль и корректировку данных, архивирование и собственно прогноз.

ПРОФИЛ	МЭД	ЭРОА	ДАН	ПЫЛЬ
1-квартал	0,13	4	7,5	0,12
2-квартал	0,14	2	6,9	0,12
3-квартал	0,15	3	6,5	0,11
4-квартал	0,12	5	4,2	0,15



В данной работе предлагается метод и программный комплекс, позволяющие на основе статистических данных по выбросам загрязняющих веществ горно производственных предприятиях в экологически проблемных местах промышленного региона и выполнять оперативный прогноз концентрации вредных веществ в атмосфере при заданных метеорологических условиях, а также методами математического моделирования распространять прогнозирование на территории, прилегающие к предприятию. Для оперативного прогноза концентрации загрязняющих веществ разработан алгоритм, состоящий из следующих процедур: создание базы данных, выборка данных из БД по точечным и интервальным запросам; выявление решающих параметров; нормализация данных; классификация замеров по месту и метеоусловиям; группирование замеров на основе алгоритмов кластеризации; выявление принадлежности исходной точки к тому или иному кластеру; формирование прогноза концентрации веществ, характерных для данной группы замеров; распространение результатов прогноза проводимых измерений методами математического моделирования на территории, прилегающие к промышленным



предприятий; создание интерактивного приложения для мониторинга состояния уровня загрязненности атмосферы [10-15].

Исходными данными являются замеры следующих факторов:

Часть участок - Место- это где можно разместить газоанализатор на сторону ветра, с целью попадания ветра на газоанализатор со стороны пром зоны, газоанализатор должен записывать все данные включая различные виды источников загрязнения:

- Давления воздуха в регионе (Па);
- Тсух – температура сухого термометра (оС);
- Твлаж – температура термометра (оС);
- Влажность воздуха в регионе (%);
- скорость воздействующего ветра (м/с);
- направление воздействующего ветра;
- облачность атмосфер.

Изъятые данные – представляют собой информацию о концентрации вещества в воздухе и предельно допустимой концентрации.

В основе применения метода распознавания образов лежит представление о том, что большие концентрации примесей связаны с вполне определенными метеорологическими ситуациями и характером предшествующего загрязнения воздуха. Конкретный комплекс характеристик используется для определения группы, к которой можно отнести прогнозируемую ситуацию. Для каждой конкретной ситуации, характеризуемой в фазовом пространстве точкой  $y$  с координатами  $y_1, y_2, \dots, y_n$  определяется расстояние до ряд готовых стандартных решений для выполнения необходимых задач.

$$p_i^2 = \sum_{i=1}^N \left( \frac{y_i - x_i^{(1)}}{\sigma_i^{(1)}} \right)^2 \quad (1)$$

Аналогично находится расстояние до остальных групп. Ситуация  $y$  относится к той группе, расстояние до которой минимально. Далее считается средняя концентрация каждого вещества, характерного для данного кластера:

$$x_i = \frac{\sum_j^n x_j}{n} \quad (2)$$

где  $n$  - количество элементов в кластере,  $x_j$  – концентрация вещества.

Используя данные о концентрации, полученные прогнозированием, можно контролировать ситуацию загрязнения на промышленных регионах. Имеющиеся данные по загрязнению атмосферы при определенных метеорологических условиях являются дискретными данными. Для решения задачи продолжения прогноза концентрации вредных веществ необходимо построить непрерывную математическую модель приземной аэродинамики, в которую входят уравнения движения Навье–Стокса, неразрывности, состояния, теплоты и загрязнение. Для решение задачи рассматривается в цилиндрической системе прямоугольных координат геоинформационной системы промышленного региона с шагом по горизонтальным координатным направлениям.



$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + g \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\eta_h}{\rho} \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial z} \left( \eta_g \frac{\partial u}{\partial z} \right) \quad (3)$$

$$\frac{\partial g}{\partial t} + u \frac{\partial g}{\partial x} + g \frac{\partial g}{\partial y} + w \frac{\partial g}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\eta_h}{\rho} \left( \frac{\partial^2 g}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 g}{\partial y^2} \right) + \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial z} \left( \eta_g \frac{\partial g}{\partial z} \right) \quad (4)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + g \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\eta_h}{\rho} \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + w \right) + \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial z} \left( \eta_g \frac{\partial w}{\partial z} \right) \quad (5)$$

$$\frac{\partial p}{\partial t} + p \frac{\partial u}{\partial x} + p \frac{\partial u}{\partial y} + p \frac{\partial z}{\partial y} = 0 \quad (6)$$

$$\rho = \frac{p}{R_c T_g} \quad (7)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + g \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} = \eta_h \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \eta_g \frac{\partial T}{\partial z} \right) + f \quad (8)$$

$$\frac{\partial s}{\partial t} + u \frac{\partial s}{\partial x} + g \frac{\partial s}{\partial y} + w \frac{\partial s}{\partial z} = \eta_h \left( \frac{\partial^2 s}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 s}{\partial y^2} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \eta_g \frac{\partial s}{\partial z} \right) \quad (9)$$

Уравнение движение вредной примеси представляет собой трехмерное нестационарное уравнение с параметризуемыми коэффициентами имеет вид [4,7-9]:

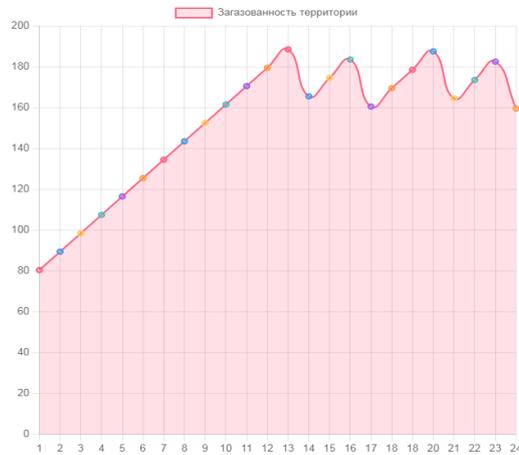
$$\frac{\partial \xi}{\partial t} + u \frac{\partial \xi}{\partial x} + g \frac{\partial \xi}{\partial y} + w \frac{\partial \xi}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \eta_h \frac{\partial \xi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \eta_h \frac{\partial \xi}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \eta_h \frac{\partial \xi}{\partial z} \right) + \mu_{\varphi, \varphi} \quad (10)$$

Влияния подвижных источников на окружающую среду в моделях распространение вредной примеси можно моделировать наземным линейным источником примеси принимает вид

$$\mu_{\varphi} = \sum_{i=1}^N A_k^i \delta(\bar{r} - \bar{r}_i) \quad (11)$$

Определения  $A_k^i$  используется методика расчетов выброса предприятия с учетом статистических данных. Программный комплекс позволяет построить модель распространения загрязняющих веществ. Зная, какая концентрация вредных веществ на участке будет при определенных погодных условиях, можно спрогнозировать уровень концентрации вредного вещества в окрестности участка при этих же условиях. Разработанный программный комплекс учитывает метеоусловия, а также протяженность исследуемого участка.

Адаптация данного программного комплекса заключалась в том, что организована связь между ним и программой, осуществляющей кластеризацию для экспорта данных. Организована автоматическая нормализация данных, добавлены параметры учета метеорологических условий. Для реализации мониторинга загрязнения использовались РНР а также другие веб приложения для выборки, анализа. Веб-приложение разработано на платформе модель-представление контроллер, которая позволяет создавать приложения с различных аспектов, обеспечивая при этом связи между всеми элементами.



#### Добавить запись для построения графика

Содержание примеси (мг/м³)

0,15

Вид примеси

Навои

Город

Пыль

ПОСТРОИТЬ ГРАФИК

#### Прогноз на день

Город: Навои

Температура: 36,71 С

Давление: 1008 гПа

Влажность: 11 %

Скорость ветра: 8,23 км/час

Облачность: 0 %

Теоритическая загазованность: 71,5 мг/  
м³;

В работе описывается структура базы для хранения статистических данных по выбросам загрязняющих веществ предприятиям в экологически проблемных местах г. Навои, технология разработки и структура приложения, которое предоставляет возможности просмотра, добавления, а также позволяет осуществлять выборку замеров по метеоусловиям по различным критериям в удобной для пользователя форме, отображение данных в виде графиков и на карте [16-19]. Разработан удобный внешний интерфейс для работы с базой и ведения в ней статистических данных. Приложение позволяет в интерактивном режиме пользователю добавлять, редактировать данные, удобно представлять имеющуюся информацию, производить оперативный прогноз, используя карту города, производить мониторинг реального состояния воздушной среды.

## ВЫВОДЫ

Приведённые в данной работе результаты подтверждают возможность построения таких схем на базе методов распознавания образов. Программный комплекс позволяет делать прогноз концентрации вредных веществ в воздушной среде в промышленных условиях и может использоваться природоохранными и контролирующими организациями, занимающимися организацией системы контроля за показателями экологического воздействия промышленных выбросов и оперативного управления ими с целью нормализации экологической обстановки региона.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Пшинько А.Н., Беляев Н.Н., Машихина П.Б. Моделирование процесса рассеивания тяжелого газа в атмосфере // Наука Та Прогрес Транспорту . - Днепропетровск, 2008. - № 25. - С. 81-83
2. Абдула Ж., Алтеев Т., Галагузова Т.А., Алдаберген Ш. Аналитическая модель переноса примеси атмосферного воздуха // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. - Москва, 2016. - № 3. - С. 177-180.
3. Яковенко И.В. Переход к пространственно-двумерной модели в задаче движения многокомпонентной воздушной среды в приземном слое с учетом насаждений // Вестник Таганрогского Государственного Педагогического Института. - Таганрог, 2017. - № 1. - С. 329-335



4. Botirov T.V., Buranov B.M, Latipov Sh.B. About one synthesis method for adaptive control systems with reference models // Journal of Physics: Conference Series. 1515(2), 2020, doi:10.1088/1742-6596/1515/2/022078
5. Чистяков А.Е., Хачунц Д.С. Программная реализация двумерной задачи движения воздушной среды // Известия ЮФУ. - Ростов-на-Дону, 2013. - № 4. - С. 15-21.
6. Sharipov D. A Mathematical Model and Computational Experiment for the Study and Forecast of the Concentration of Harmful Substances in the Atmosphere // American Journal of Computation, Communication and Control. - 2016. - № 2(6). - Pp. 48-54.
7. Igamberdiyev H.Z., Botirov T.V. Algorithms for the Synthesis of a Neural Network Regulator for Control of Dynamic Objects // 11th World Conference "Intelligent System for Industrial Automation" (WCIS-2020) (pp.460-465), DOI:10.1007/978-3-030-68004-6\_60
8. Ботиров Т.В. Регуляризованные алгоритмы параметрического синтеза управляющих устройств в адаптивных системах управления с эталонными моделями // Журнал «Химическая технология. Контроль и управление». -Ташкент, 2010. -№5. -С. 86-89.
9. Базаров, М. Б., Ботиров, Т. В., & Кадыров, Е. Б. (2010). Интервальное адаптивное управление процессом получения формалина.-. Химическая технология. Контроль и управление, (6), 65-68.
10. Кабулов, А. В., Норматов, И. Х., & Каландаров, И. И. (2016). Алгоритмическая модель управления на основе алгебры над таблицами функционирования. Проблемы вычислительной и прикладной математики, (2), 19-23.
11. Kabulov, A., Kalandarov, I., & Boltaev, S. (2020). Development of mathematical models of problems of management the production division with a discrete unit type production. Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems, 12(6), 778-791.
12. Kabulov, A. V., Normatov, I. H., & Kalandarov, I. I. (2015). Algorithmic method of the conversion functioning tables (FT) for control industrial systems. Наука и Мир, 1(8), 14-17.
13. Kalandarov, I. I. Algorithm for solving the optimal technological route tasks / I. I. Kalandarov, S. I. O. Bekbutayev // Инициатива в науке как новая стратегия развития системы знаний : Сборник научных трудов. - Казань : ООО "СитИвент", 2019. - P. 270-275.
14. Kabulov, A. Development of mathematical models of problems of management the production division with a discrete unit type production / A. Kabulov, S. Boltaev, I. Kalandarov // Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems. - 2020. - Vol. 12. - No S6. - P. 778-791. - DOI 10.5373/JARDCS/V12SP6/SP20201095.
15. Микропроцессорная система с распределенным управлением / И. И. Каландаров, А. А. Бобоев, С. Е. Ё. л. Меликулов, С. Ф. Тогаев // Образовательная система: вопросы продуктивного взаимодействия наук в рамках технического прогресса : сборник научных трудов. - Казань : ООО "СитИвент", 2019. - С. 357-359.д
16. Тимофеева, С. С., Бобоев, А. А., & Дроздова, И. В. (2021). ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЕ РИСКИ ПЕРСОНАЛА ЗОЛОТОИЗВЛЕКАТЕЛЬНОЙ ФАБРИКИ В УЗБЕКИСТАНЕ. Journal of Advances in Engineering Technology, (1), 3-9.
17. Музафаров, А. М., & Бобоев, А. А. (2020). Радиозоологические факторы и методы их определения в урановых техногенных объектах. XXI век. Техносферная безопасность, 5(3 (19)).
18. Timofeeva, S. S., Timofeev, S. S., & Boboev, A. A. (2020, November). Phytoremediation potential of aquatic plants in Uzbekistan for the treatment of cyanide-containing wastewater. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 962, No. 4, p. 042096). IOP Publishing.
19. Timofeeva, S. S., Drozdova, I. V., & Boboev, A. A. (2020). Assessment of occupational risks of employees engaged in open-pit mining. In E3S Web of Conferences (Vol. 177). EDP Sciences