

УДК 519.6

## РЕГРЕССИОННЫЙ АНАЛИЗ СОСТАВА ПЫЛИ В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ ГОРОДА

<sup>1\*</sup>Равшанов Н., <sup>2</sup>Махмудов Р.З.

\*ravshanzade-09@mail.ru

<sup>1</sup>Научно-исследовательский институт развития цифровых технологий и искусственного интеллекта, 100125, Узбекистан, г. Ташкент, м-в Буз-2, д. 17А;<sup>2</sup>Ташкентский университет информационных технологий, 100200, Узбекистан, Ташкент, ул. А. Тимура, 108.

В данном исследовании анализируется уровень загрязнения атмосферного воздуха в городе Ташкент. Особое внимание уделяется среднегодовым изменениям выбросов загрязняющих веществ от стационарных источников, а также содержанию твердых частиц PM<sub>10</sub> и PM<sub>2.5</sub>. В частности, исследуются предельно допустимые концентрации этих частиц и их влияние на здоровье человека. Обсуждаются ключевые источники загрязнения, включая промышленные предприятия, автотранспорт, строительные площадки, а также климатические факторы (скорость ветра, влажность), влияющие на рассеивание и трансформацию загрязняющих веществ. Исследование показывает, что контроль за содержанием PM<sub>2.5</sub> и PM<sub>10</sub> является критически важным для обеспечения экологической безопасности и здоровья населения. Результаты указывают на необходимость применения современных технологий очистки воздуха для снижения уровня загрязнения.

**Ключевые слова:** PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>, загрязнение воздуха, санитарно-гигиенические нормы, стационарные источники, динамика выбросов, здоровье населения, системы фильтрации.

**Цитирование:** Равшанов Н., Махмудов Р.З. Регрессионный анализ состава пыли в атмосферном воздухе города // Проблемы вычислительной и прикладной математики. – 2024. – № 6(62). – С. 34-44.

### 1 Введение

Современное общество всё чаще сталкивается с проблемой загрязнения окружающей среды. Это вызывает серьёзную обеспокоенность, так как негативно влияет на здоровье людей и состояние экосистем. Признано, что проблема загрязнения воздуха является критической, поскольку оно оказывает негативное влияние не только на здоровье (развитие респираторных заболеваний, сердечно-сосудистых проблем, увеличение числа онкологических заболеваний), но и на экологические системы. Это угнетает биоразнообразие и нарушает нормальное функционирование экосистем [1].

Кроме того, загрязнение атмосферы способствует изменению климата, что приводит к экстремальным погодным условиям и увеличению частоты природных катастроф. Экономические последствия загрязнения воздуха также значительны, включая рост затрат на здравоохранение, потери урожая в сельском хозяйстве и ущерб инфраструктуре.

В настоящее время в нашей стране применяются санитарно-гигиенические нормы, такие как предельно допустимые концентрации микроорганизмов-продуцентов в атмосферном воздухе населённых пунктов Республики Узбекистан. Эти нормы, утверждённые Министерством здравоохранения Республики Узбекистан 12 мая 2004 года, устанавливают предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ в

атмосферном воздухе, измеряемые в  $\text{мг/м}^3$ . Специальные стандарты также действуют для взвешенных частиц размером менее 10  $\text{мкм}$  (PM10) и менее 2,5  $\text{мкм}$  (PM2.5), направленные на защиту здоровья и улучшение качества воздуха [2].

Подобные нормативы существуют во многих странах на протяжении многих лет и сопровождаются обширными наблюдениями, исследованиями и разработками методик, позволяющих более эффективно контролировать уровень загрязнения воздуха. Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) уделяет значительное внимание гигиеническому значению мелкодисперсных частиц и их воздействию на здоровье человека. Эти частицы, имеющие аэродинамический диаметр менее 10  $\text{мкм}$  (PM10) и менее 2,5  $\text{мкм}$  (PM2.5), могут длительное время находиться в воздухе, перемещаться на большие расстояния и легко проникать глубоко в лёгкие, преодолевая защитные барьеры организма человека. Поэтому они представляют особую опасность для здоровья, и контроль их содержания в атмосферном воздухе городов является крайне важным [3].

Таким образом, разработка и использование математических и компьютерных моделей для анализа и правильного планирования размещения промышленных объектов и зеленых зон способствует обеспечению устойчивого развития и улучшению качества жизни населения.

Вопрос математического моделирования переноса и дисперсии опасных соединений в атмосфере и многие ученые достигли значительных результатов в данной области. В частности, Биляев и соавторы [4].

Регулярный контроль содержания частиц PM2.5 и PM10 помогает предотвратить хронические заболевания, такие как респираторные и сердечно-сосудистые патологии. Это также способствует улучшению общего качества жизни населения и снижению экономических затрат на здравоохранение. Современные технологии фильтрации и системы очистки воздуха играют важную роль в снижении концентрации вредных частиц. Инвестиции в такие технологии и обеспечение их широкого применения являются важным шагом к улучшению экологической обстановки и защите здоровья населения.

В статье [5] разработана математическая модель для рассеивания и переноса загрязняющих веществ в атмосфере. Исследовано распространение активных и пассивных примесей из мгновенного точечного источника в атмосфере, а также предложены результаты исследования частичного поглощения примесей. В предложенной математической модели задачи включены уравнения переноса, коэффициент вязкости и турбулентности, которые принимают постоянные значения.

Еще одной проблемой крупных городов является негативное воздействие автомобилей на окружающую среду. С увеличением количества автомобилей на дорогах и ростом автомобилизации увеличивается количество вредных выбросов в атмосферу. Выбросы, производимые автомобилями, вносят значительный вклад в загрязнение окружающей среды. Нефтепродукты, сыпучие и пылящие грузы, продукты износа шин и тормозных накладок, а также средства для защиты дорожного покрытия — все это загрязняет объекты, расположенные вблизи дорог [6].

Стремительный рост количества автомобилей, низкий уровень экологической безопасности конструкции транспортных средств, объектов автомобильного транспорта, придорожной инфраструктуры, используемых материалов, технического состояния транспортных средств и несоблюдение нормативных требований — все это способствует ухудшению воздействия автомобилей на окружающую среду в городских районах и на автомагистралях. Кроме того, пыль в городах и пригородах, особенно в

районах, прилегающих к дорогам, содержит мелкие частицы, выделяющиеся из шин при движении по асфальтовым и бетонным поверхностям [7].

Уровень загрязнения воздуха в крупном мегаполисе определяется выбросами вредных веществ как от стационарных, так и от передвижных источников. Суммарный объём выбросов загрязняющих веществ в атмосферу Ташкента в 2016–2020 гг. составлял в среднем 550 тыс. тонн в год. Динамика выбросов от стационарных источников и автотранспорта представлена в таблице 1 [8, 18, 19].

Таблица 1 демонстрирует изменения выбросов загрязняющих веществ от стационарных и мобильных источников в Ташкенте за период 2016–2020 гг., с учётом твёрдых частиц PM<sub>10</sub>.

**Таблица 1** Динамика выбросов от стационарных источников и автотранспорта

Годы	Стационарные источники (тыс. тонн)	Твердые частицы (тыс. тонн)	Движущиеся ресурсы (тыс. тонн)	Твердые частицы (тыс. тонн)
<b>2016</b>	560,0	2,8	475,0	1,0
<b>2017</b>	570,0	2,9	480,0	1,0
<b>2018</b>	580,0	3,0	485,0	1,1
<b>2019</b>	590,0	3,0	490,0	1,1
<b>2020</b>	600,0	3,1	495,0	1,2

Состояние загрязнения воздуха зависит не только от количества и химического состава выбросов, но и от климатических условий, которые влияют на перенос, рассеивание и трансформацию выброшенных веществ. Ташкент имеет климатические условия, которые, в общем, способствуют несколько более высокому уровню загрязнения воздуха вредными веществами по сравнению с другими городами. Расположение Ташкента и его городская планировка создают благоприятные условия для рассеивания вредных веществ в атмосфере, что помогает снижать уровень загрязнения воздуха по сравнению с другими городами Узбекистана. Однако, несмотря на эти факторы, уровень загрязнения в Ташкенте всё же остаётся выше допустимых норм, особенно в периоды повышенной запыленности, такие как весной и летом [9].

Был проведен анализ содержания частиц PM<sub>2.5</sub> и PM<sub>10</sub> в атмосферном воздухе мегаполиса. Определение концентрации частиц PM<sub>2.5</sub> и PM<sub>10</sub> технологически сложнее, чем определение концентрации взвешенных веществ в целом, так как из общей массы твердых частиц, находящихся в атмосферном воздухе, нужно выделить именно фракции с содержанием пыли с диаметрами до 2,5 микрон и до 10 микрон [10]. Общее количество обрабатываемых данных должно быть таким, чтобы обеспечить получение однородной выборки из результатов. Установление однородности ряда предполагает проведение статистического анализа в следующей последовательности [11]: а) определяется среднеарифметическое значение концентрации  $C$  (мг/м<sup>3</sup>) по формуле.

## 2 Постановка задачи

Как отмечено в работе [12] для мониторинга и прогнозирования состояния приземного слоя атмосферы можно решать процесс переноса и диффузии загрязняющих веществ в атмосфере с помощью уравнения, где необходимо учесть погодно-

климатические факторы и орографию местности, которые существенно воздействуют на изменения концентрации вредных веществ в атмосфере:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial \theta(x, y, z, t)}{\partial t} + \frac{\partial u(x, y, z, t) \theta(x, y, z, t)}{\partial x} + \\ & \frac{\partial v(x, y, z, t) \theta(x, y, z, t)}{\partial y} + \frac{\partial w(x, y, z, t) \theta(x, y, z, t)}{\partial z} - \\ & - w_g(t) \frac{\partial \theta(x, y, z, t)}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \mu_x \frac{\partial \theta(x, y, z, t)}{\partial x} \right) + \\ & \frac{\partial}{\partial y} \left( \mu_y \frac{\partial \theta(x, y, z, t)}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \mu_z \frac{\partial \theta(x, y, z, t)}{\partial z} \right) + Q(x, y, z, t) \end{aligned} \quad (1)$$

с соответствующими начальными и краевыми условиями:

$$\theta(x, y, z, t) = \theta^0(x, y, z) \quad \text{при} \quad t = 0; \quad (2)$$

$$\begin{cases} \frac{\partial u(x, y, z, t) \theta(x, y, z, t)}{\partial x} = \eta_1(\theta(x, y, z, t) - \theta_v(x, y, z, t)) & \text{при} \quad x = 0, \\ -\frac{\partial u(x, y, z, t) \theta(x, y, z, t)}{\partial x} = \eta_2(\theta(x, y, z, t) - \theta_v(x, y, z, t)) & \text{при} \quad x = L_x, \end{cases} \quad (3)$$

$$\begin{cases} \frac{\partial v(x, y, z, t) \theta(x, y, z, t)}{\partial y} = \eta_3(\theta(x, y, z, t) - \theta_v(x, y, z, t)) & \text{при} \quad y = 0, \\ -\frac{\partial v(x, y, z, t) \theta(x, y, z, t)}{\partial y} = \eta_4(\theta(x, y, z, t) - \theta_v(x, y, z, t)) & \text{при} \quad y = L_y, \end{cases} \quad (4)$$

$$\begin{cases} \mu_z \frac{\partial \theta(x, y, z, t)}{\partial z} = (\beta(x, y, z) - w_g) \theta(x, y, z, t) - Q_0(x, y, z, t) & \text{при} \quad z = 0, \\ -\frac{\partial (w - w_g) \theta(x, y, z, t)}{\partial z} = \eta_5(\theta(x, y, z, t) - \theta_v(x, y, z, t)) & \text{при} \quad z = L_z. \end{cases} \quad (5)$$

Здесь  $\theta$  – 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,  $\mu_x, \mu_y, \mu_z$  – соответственно, коэффициенты турбулентного перемешивания по горизонтали и вертикали,  $\beta$  – коэффициент взаимодействия с подстилающей поверхностью,  $Q$  – объем выброса вредных веществ в атмосферу из стационарных источников;  $Q_0$  – количество выброса солей и аэрозольных частиц из поверхности земли;  $\theta_v$  – концентрация взвешенных веществ поступающих через границы области решения задачи;  $\eta_1, \eta_2, \eta_3, \eta_4, \eta_5$  – безразмерные параметры [13];

Для вычисления основных факторов, влияющих на ход переноса и диффузии загрязняющих веществ в атмосфере с учетом выше указанных получена регрессионная модель для вычисления корреляционной зависимости изменений концентрации пыли и PM10:

$$\theta_n = a_0 + a_1 v - a_2 \sigma + a_3 \vartheta - a_4 \rho; \quad (6)$$

$$\theta_{PM10} = b_0 + b_1 v - b_2 \sigma + b_3 \vartheta - b_4 \rho, \quad (7)$$

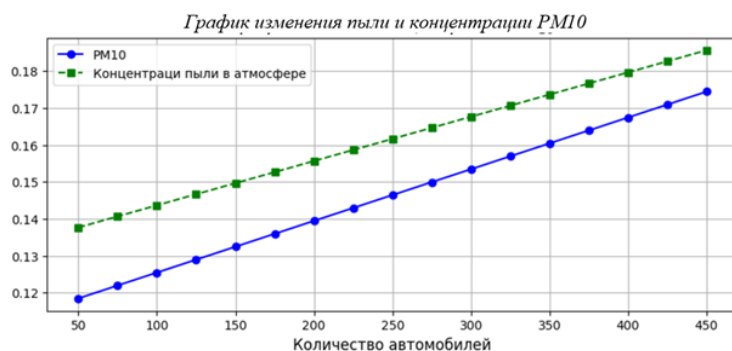
где  $\theta_n$  – концентрация пыли в атмосферном воздухе, мг/м<sup>3</sup>;  $\theta_{PM_{10}}$  – концентрация частиц диаметром менее 10 мкм, мг/м<sup>3</sup>;  $v$  – скорость ветра, м/с;  $\sigma$  – влажность атмосферного воздуха, %;  $\vartheta$  – интенсивность движения транспорта по автомагистрали, авт./ч.;  $\rho$  – плотность растительного покрова.

Для проведения численных расчетов получены следующие значения коэффициентов регрессии:

$$a_0 = 0,169; a_1 = 0.006; a_2 = 0.0018; a_3 = 0.00012; a_4 = 0.0011;$$

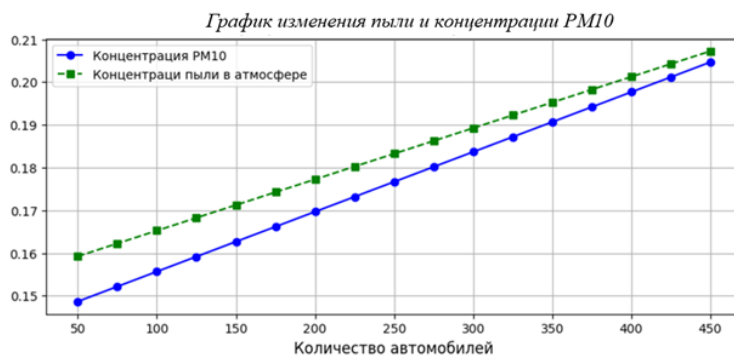
$$b_0 = 0.103; b_1 = 0.0018; b_2 = 0.00012; b_3 = 0.0011; b_4 = 0.0011.$$

Анализ результатов: как видно из уравнений (6) и (7), задав реальные значения параметров, можно вычислить концентрацию пыли в атмосферном воздухе, а также концентрацию частиц диаметром менее 10 мкм. На основе архивных данных [15, 17], погодные условия в аэропорту Ташкента 1 октября 2024 года приведено в рис. 1.



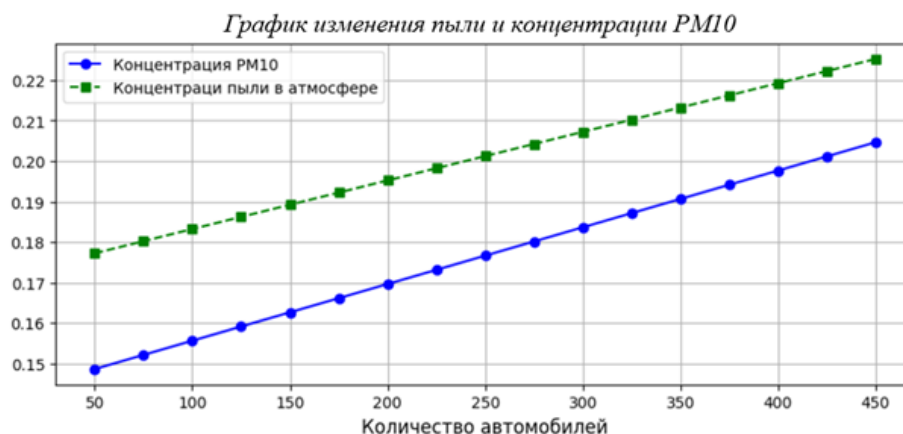
**Рис. 1** График пыли и концентрации PM10 при скорости ветра  $v = 3.4$  м/с,  $\sigma = 20\%$ ,  $\rho = 0.8$

На основании представленных графиков можно сделать следующий вывод анализа о влиянии количества автомобилей и скорости ветра на концентрацию частиц PM10 в атмосфере. Скорость ветра  $v = 3.4$  м/с (рис. 1): Концентрация PM10 увеличивается по мере увеличения количества автомобилей. Концентрация пыли также растет пропорционально увеличению числа автомобилей, и при этой скорости ветра концентрация достаточно высокая. Разница между концентрацией частиц PM10 и общей пылевой концентрацией незначительная, что говорит о том, что частицы не так активно рассеиваются.



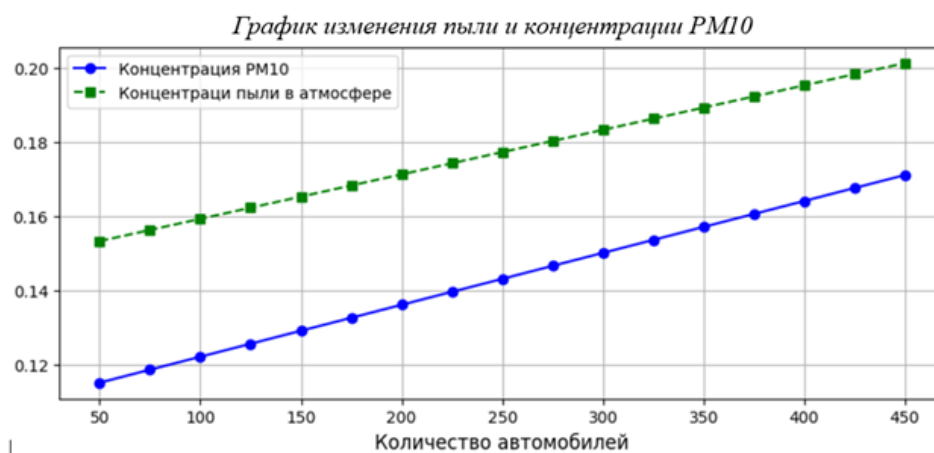
**Рис. 2** График пыли и концентрации PM10 при скорости ветра  $v = 7$  м/с,  $\sigma = 20\%$ ,  $\rho = 0.8$

С увеличением скорости ветра наблюдается повышение концентрации PM10, однако это повышение происходит медленнее по сравнению с предыдущим случаем. Общая концентрация пыли в атмосфере также возрастает, но её значение чуть выше, чем концентрация PM10. При увеличении скорости ветра частицы пыли начинают более эффективно распространяться в атмосфере, что приводит к снижению их локальной концентрации.



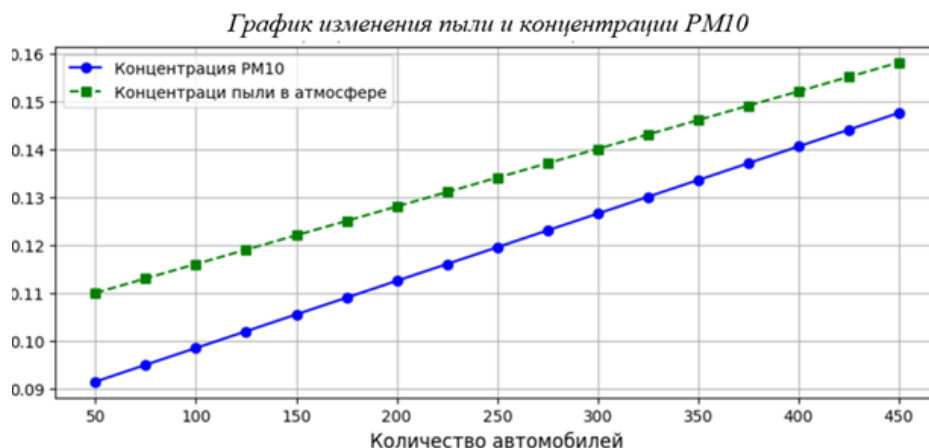
**Рис. 3** График пыли и концентрации PM10 при скорости ветра  $v = 10$  м/с,  $\sigma = 20\%$ ,  $\rho = 0.8$

При дальнейшем увеличении скорости ветра до 10 м/с рост концентрации PM10 замедляется еще больше. Общая концентрация пыли также растет медленнее, чем в предыдущих случаях. Это связано с тем, что при высокой скорости ветра пыль активно рассеивается в атмосфере, что приводит к уменьшению локальной концентрации частиц. С увеличением скорости ветра концентрация частиц PM10 и общей пыли в атмосфере снижается, так как ветер способствует более равномерному распределению пыли и уменьшению её локальной концентрации. Количество автомобилей оказывает прямое влияние на концентрацию частиц PM10: чем больше автомобилей, тем выше концентрация, но при более высокой скорости ветра рост концентрации происходит медленнее.



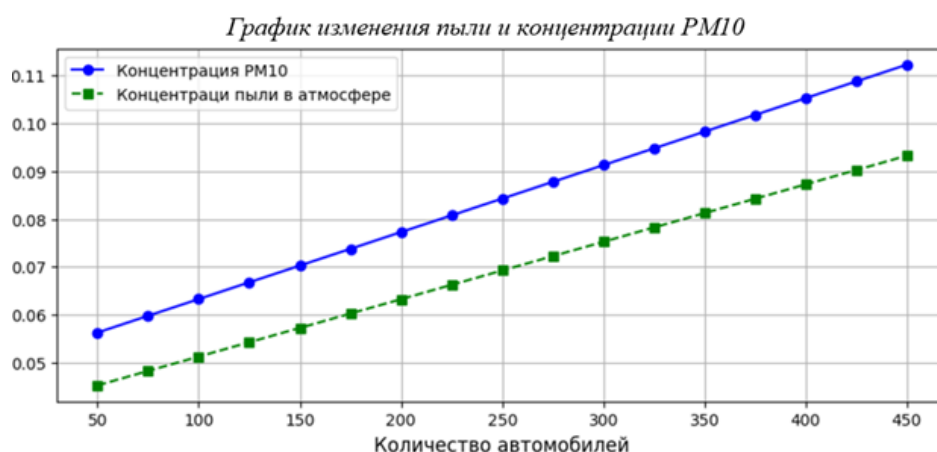
**Рис. 4** График пыли и концентрации PM10 при влажности атмосферного воздуха  $v = 10$  м/с,  $\sigma = 20\%$ ,  $\rho = 0.8$

Концентрация частиц PM10 увеличивается по мере увеличения количества автомобилей. Однако этот рост не слишком резкий. Общая концентрация пыли в атмосфере также увеличивается, но остаётся несколько выше концентрации PM10. Влажность воздуха при данном значении немного снижает концентрацию частиц в воздухе, так как влажный воздух способствует оседанию частиц.



**Рис. 5** График пыли и концентрации PM10 при влажности атмосферного воздуха  $v = 10$  /,  $m/c$ ,  $\sigma = 45\%$ ,  $\rho = 0.8$

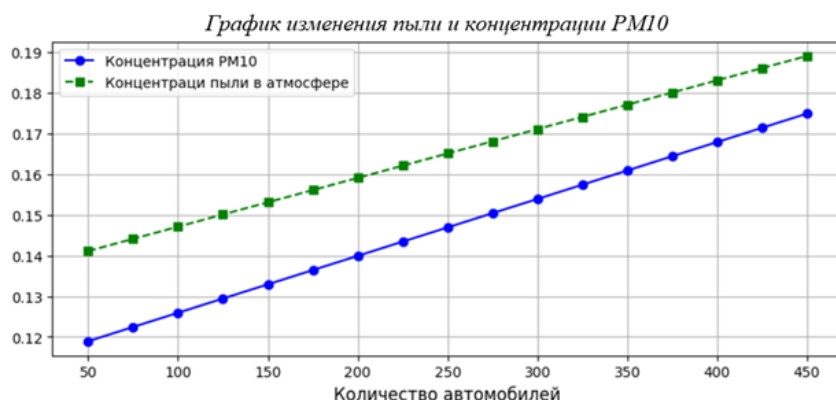
С увеличением влажности воздуха до 45% рост концентрации PM10 по-прежнему присутствует, но становится ещё более пологим. Концентрация пыли в атмосфере также уменьшилась, что подтверждает эффект более высокой влажности на оседание пылевых частиц. Более высокая влажность способствует более эффективному оседанию частиц, что приводит к снижению их концентрации в атмосфере.



**Рис. 6** График пыли и концентрации PM10 при влажность атмосферного воздуха  $v = 10$  м/с,  $\sigma = 80\%$ ,  $\rho = 0.8$

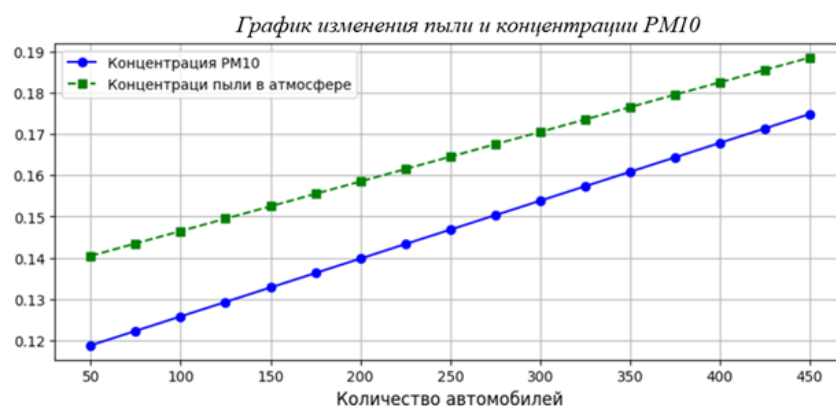
При влажности 80 % наблюдается заметное снижение концентрации PM10, несмотря на увеличение количества автомобилей. График показывает более плавный рост концентрации. Общая концентрация пыли в атмосфере заметно снижается и становится значительно ниже по сравнению с предыдущими случаями. Высокая

влажность способствует активному оседанию пыли, что значительно снижает её концентрацию в воздухе. С увеличением влажности воздуха концентрация частиц PM10 и общей пыли в атмосфере уменьшается. Это связано с тем, что влажный воздух способствует оседанию пылевых частиц, предотвращая их накопление в атмосфере. При высокой влажности даже увеличение количества автомобилей не приводит к столь значительному увеличению концентрации частиц в атмосфере, как это наблюдается при низкой влажности. Таким образом, влажность воздуха является важным фактором, влияющим на концентрацию частиц PM10 в атмосфере, и способствует улучшению качества воздуха.



**Рис. 7** График пыли и концентрации PM10 при влажности атмосферного воздуха  $v = 10$  м/с,  $\sigma = 80\%$ ,  $\rho = 0.2$

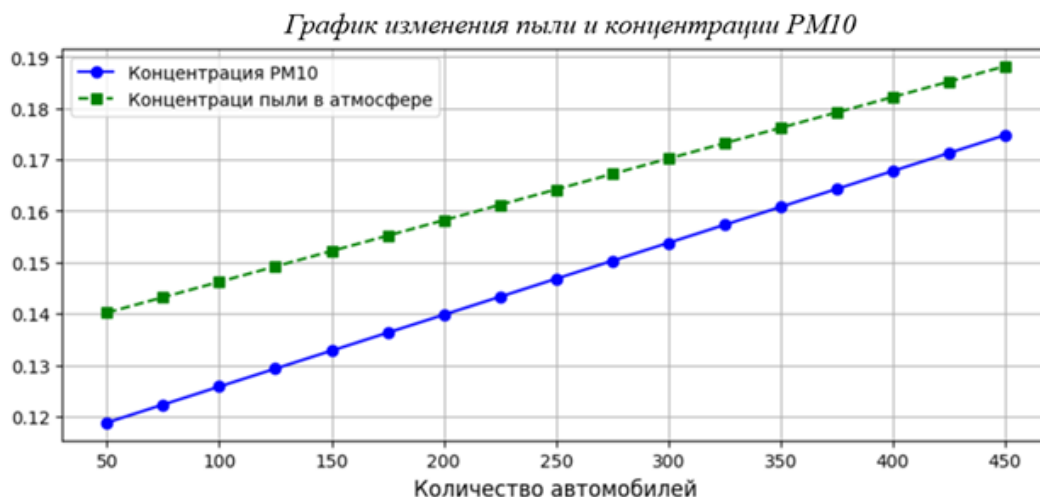
Как видно из рисунков 7-9, проведен анализ влияния влажности воздуха на концентрацию частиц PM10 и общую концентрацию пыли при различной влажности атмосферы. Рассмотрим каждый случай: рисунок 7 (влажность воздуха  $\rho = 0.2$ ): при низкой влажности ( $\rho = 0.2$ ) концентрация частиц PM10 заметно увеличивается с ростом количества автомобилей. Общая концентрация пыли также возрастает быстрее и остаётся выше концентрации PM10. Низкая влажность способствует увеличению концентрации частиц, так как при низкой влажности оседание частиц минимально, и они остаются в воздухе.



**Рис. 8** График пыли и концентрации PM10 при влажности атмосферного воздуха  $v = 10$  м/с,  $\sigma = 80\%$ ,  $\rho = 0.6$



При повышении влажности до  $\rho = 0.6$  наблюдается снижение интенсивности роста концентрации PM10. Общая концентрация пыли также остаётся выше, но разница с концентрацией PM10 сокращается по сравнению с предыдущим случаем. Влажность воздуха способствует лучшему оседанию частиц, что приводит к их снижению в воздухе.



**Рис. 9** График пыли и концентрации PM10 при влажности атмосферного воздуха  $v = 10 \text{ м/с}$ ,  $\sigma = 80\%$ ,  $\rho = 0.8$

Как следует из рисунка 9 влажность воздуха  $\rho = 0.8$  (где  $\rho$  обозначает относительную влажность в долях от единицы) при влажности воздуха  $\rho = 0.8$  наблюдается дальнейшее снижение темпов роста концентрации PM10, хотя число автомобилей увеличивается. Общая концентрация пыли остаётся выше, но её значение ниже, чем в случаях с меньшей влажностью. Высокая влажность ( $\rho = 0.8$ ) способствует наиболее эффективному оседанию частиц, что приводит к заметному снижению концентрации частиц в атмосфере. С увеличением влажности воздуха концентрация частиц PM10 и общая концентрация пыли в атмосфере уменьшается, так как влажный воздух способствует оседанию частиц пыли. При высокой влажности даже увеличение количества автомобилей не приводит к значительному росту концентрации PM10, так как в условиях высокой влажности частицы оседают быстрее. Таким образом, влажность атмосферы оказывает значительное влияние на качество воздуха, уменьшая концентрацию вредных частиц и улучшая экологическую ситуацию.

### 3 Заключение

1. Важность контроля за содержанием PM2.5 и PM10 в воздухе: для оценки уровня загрязнения атмосферы в Узбекистане были установлены санитарно-гигиенические стандарты для отслеживания мельчайших частиц - PM2.5 и PM10. Эти частицы могут нанести вред здоровью человека за счет возможности легкого попадания в легочные ткани через дыхательные пути.

2. Источники загрязнения: основная причина загрязнения города Ташкента — это частицы, идущие от передвигающихся (автомобили) и стационарных (заводы и фабрики) точек. Вещества, выброшенные из этих мест, могут долго висеть в воздухе и распространяться на большие расстояния.

3. Погодные условия влияют на качество воздуха в Ташкенте через городское планирование, что приводит к естественной очистке воздуха: например, юго-западные и западные ветры помогают уменьшить уровень загрязнения.

4. Весенние месяцы характеризуются повышенным содержанием почвенной пыли в воздухе что приводит к увеличению загрязнения окружающей среды. Пик загрязнения наблюдается в декабре, а также в летние месяцы, такие как июнь и август.

## Литература

- [1] *N. Ravshanov, N. Tashtemirova, U. Alimov, M. Ubaydullaev* Modelling the Spatial Distribution of Industrial Facilities and Green Areas to Reduce the Ecological Footprint.. International Scientific Conference “Green Taxonomy for Sustainable Development: From Green Technologies to Green Economy” (CONGREENTAX-2024). <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202457404002> – 2024.
- [2] *Азаров В.Н., Мензелинцева Н.В., Карпузова Н.Ю.* Об оценке доли частиц PM10 и PM2,5 выбросах предприятий строительной отрасли. Вестник отделения строительных наук РААСН. – 2012. – Т. 2. – С. 6–12.
- [3] *WHO* Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide Global update 2005. Summary of risk assessment. (WHO/SDE/PHE/OEH/06.02) WHO, – 2006. – 22 p.
- [4] *М.М. Biliaiev, T.I. Rusakova, I.V. Kalashnikov, I.O. Bondarenko, E.Y. Gunko* Numerical modeling of air pollution from dumps. Science and Transport Progress, 4 – 2019. <https://doi.org/10.15802/stp2019/178855>
- [5] *Akhmedov D., Ravshanov N., Muradov F.* Mathematical software to study the harmful substances diffusion in the atmosphere. // PONTE Int. Sci. Res. J. – 2018.
- [6] *Дегодя Е.Ю., Мальцева Е.В.* Влияние автомобильного транспорта на окружающую среду. Современные проблемы транспортного комплекса России. – 2016. – Т.6. – №1. – С. 34–37.
- [7] *Шишкина А.А.* Охрана труда на машиностроительном производстве. Управление экономикой, системами, процессами: сборник статей VII Международной научно-практической конференции. Пенза: Пензен. гос. аграр. ун-т, – 2023.
- [8] Газета.uz Electronic resource. <https://www.gazeta.uz/ru/2019/08/12/air-pollution/>
- [9] *Ravshanov N., Shafiev T.R., Tashtemirova N.* Nonlinear mathematical model for monitoring and forecasting the process of distributing aerosol particles in the atmosphere. Bull. TUIT Manag. Commun. Technol. – vol. 1 – 2018. – P. 1–9.
- [10] *Азаров Д. В., Маринин Н.А., Стреляева А.Б., Иванов В.А., Шибakov В.А.* Об оценке PM10 и PM2,5 в жилищном строительстве. Жилищное строительство. – 2013. – Вып. 2. – С. 30–32.
- [11] *Орлов А, Стреляева А.Б., Иванов В.А., Шибakov В.А.* 2020. Основные требования к методам анализа данных (на примере задач классификации). Научный журнал КубГАУ, – №159(05), – 2020.
- [12] *Равшанов Н., Нарзуллаева Н.* Моделирование процесса переноса и диффузии мелко-дисперсных частиц в атмосфере с учетом эрозии почвы. Проблемы вычислительной и прикладной математики, 4 (10) – 2017. – С. 19–35.
- [13] *Aripov M.M., Alanezi Meshal* To the numerical modeling of solution, the Cauchy problem to degenerate nonlinear parabolic equation with variable density and absorption.. Problems of Computational and Applied Mathematics. 2(26): – 2020. – P. 5–11.
- [14] *N. Ravshanov, N. Narzullayeva, N. Tashtemirova, F. Muradov, Y. Islamov* Software and instrumental complex for decision-making on environmental protection

- from technogenic factors. AIP Conference Proceedings, 2467, 060003 – 2022. <https://doi.org/10.1063/5.0094971>
- [15] *Равшанов Н., Далиев Ш.* Математическая модель для мониторинга и прогнозирования изменений уровня грунтовых вод и концентрации солей в них. Информатика: проблемы, методы, технологии: материалы XX Международной научно-методической конференции, Воронеж, 13-14 февраля – 2020. – С. 216–232.
- [16] *Н. Равшанов, Н. Таштемирова, Д.А. Каршиев* Моделирование процесса распространения аэрозольных частиц в пограничном слое атмосферы с учетом их поглощения и захвата растительным покровом. Проблемы вычислительной и прикладной математики, – № 2(56) – – 2024. – С. 41–57.
- [17] Air Now [Electronic resource] U.S. Embassies and Consulates. – 2022. access of mode: <http://www.airnow.gov/>.
- [18] IQAir AirVisual global air quality information platform. [https://www.iqair.com/dl/2023\\_World\\_Air\\_Quality\\_Report.pdf?srsId=AfmBOopHZBgRBVVI0F3oTJgk9wGDNSbPwaXqXqgsHcWUijR7qvjwQMU](https://www.iqair.com/dl/2023_World_Air_Quality_Report.pdf?srsId=AfmBOopHZBgRBVVI0F3oTJgk9wGDNSbPwaXqXqgsHcWUijR7qvjwQMU)
- [19] Air Pollution Forecast - Air Quality in Scotland [Электронный ресурс] / Air Quality in Scotland. – 2019. <http://www.scottishairquality.co.uk/latest/forecast>.

*Поступила в редакцию 06.12.2024*

UDC 519.6

## ANALYSIS OF DUST COMPOSITION IN THE ATMOSPHERIC AIR OF THE CITY

<sup>1\*</sup>*Ravshanov N.,* <sup>2</sup>*Mahmudov R.Z.*

\*[ravshanzade-09@mail.ru](mailto:ravshanzade-09@mail.ru)

<sup>1</sup>Research Institute for the Development of Digital Technologies and artificial intelligence, 100124, 17A Buz-2, Tashkent, Uzbekistan;

<sup>2</sup>Tashkent University of Information Technologies, 100200, 108, Amir Temur str., Tashkent, Uzbekistan.

This study analyzes the level of atmospheric air pollution in the city of Tashkent, focusing on the annual dynamics of pollutant emissions from stationary sources and the content of particulate matter PM10 and PM2.5. In particular, it examines the maximum permissible concentrations of these particles and their impact on human health. Key sources of pollution, such as industrial enterprises and motor vehicles, are examined, as well as climatic factors influencing the dispersion and transformation of pollutants. Monitoring PM2.5 and PM10 levels is essential to maintain environmental safety and protect public health. The results emphasize the necessity of employing modern air purification technologies to reduce pollution levels.

**Keywords:** PM2.5, PM10, dispersion modeling, regulatory standards, sanitary standards, stationary sources, emission dynamics, public health, filtration systems.

**Citation:** Ravshanov N., Mahmudov R.Z. 2024. Analysis of dust composition in the atmospheric air of the city. *Problems of Computational and Applied Mathematics*. 6(62): 34–44.

# ПРОБЛЕМЫ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ И ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ

**№ 6(62) 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), Игнатьев 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 27.12.2024 г.

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

# PROBLEMS OF COMPUTATIONAL AND APPLIED MATHEMATICS

**No. 6(62) 2024**

The journal was established in 2015.  
6 issues are published per year.

**Founder:**

Digital Technologies and Artificial Intelligence Development Research Institute.

**Editor-in-Chief:**

Ravshanov N.

**Deputy Editors:**

Azamov A.A., Aripov M.M., Shadimetov Kh.M.

**Executive Secretary:**

Akhmedov D.D.

**Editorial Council:**

Azamova N.A., Alov R.D., Amirgaliev E.N. (Kazakhstan), Burnashev V.F.,  
Zagrebina S.A. (Russia), Zadorin A.I. (Russia), Ignatiev N.A., Ilyin V.P. (Russia),  
Ismagilov I.I. (Russia), Kabanikhin S.I. (Russia), Karachik V.V. (Russia), Kurbonov  
N.M., Mamatov N.S., Mirzaev N.M., Mirzaeva G.R., Mukhamadiev A.Sh., Nazirova  
E.Sh., Normurodov Ch.B., Nuraliev F.M., Opanasenko V.N. (Ukraine), Rasulov A.S.,  
Sadullaeva Sh.A., Starovoitov V.V. (Belarus), Khayotov A.R., Khaldjigitov A.,  
Khamdamov R.Kh., Khujaev I.K., Khujayorov B.Kh., Chye En Un (Russia),  
Shabozov M.Sh. (Tajikistan), Dimov I. (Bulgaria), Li Y. (USA), Mascagni M. (USA),  
Min A. (Germany), Schaumburg H. (Germany), Singh D. (South Korea),  
Singh M. (South Korea).

The journal is registered by Agency of Information and Mass Communications under the  
Administration of the President of the Republic of Uzbekistan.

The registration certificate No. 0856 of 5 August 2015.

**ISSN 2181-8460, eISSN 2181-046X**

At a reprint of materials the reference to the journal is obligatory.  
Authors are responsible for the accuracy of the facts and reliability of the information.

**Address:**

100125, Tashkent, Buz-2, 17A.

Tel.: +(998) 712-319-253, 712-319-249.

E-mail: [journals@airi.uz](mailto:journals@airi.uz).

Web-site: <https://journals.airi.uz>.

**Layout design:**

Sharipov Kh.D.

DTAIDRI printing office.

Signed for print 27.12.2024

Format 60x84 1/8. Order No. 8. Printed copies 100.

# Содержание

*Равшанов Н., Насруллаев П.*

Математическое моделирование процесса переноса и диффузии загрязняющих веществ в приземном слое атмосферы с учетом рельефа местности . . . 5

*Каримов М.М., Каршиев Д.А.*

Моделирование процесса нелинейной фильтрации подземных вод в пористой среде . . . . . 23

*Равшанов Н., Махмудов Р.З.*

Регрессионный анализ состава пыли в атмосферном воздухе города . . . . . 34

*Холмуродов А.Э., Матанов М.Ч.*

Модель сейсмического возбуждения полупространственного распространения волн Рэлея . . . . . 45

*Равшанов Н., Шадманов И.У., Адизова З.М.*

Разработка математической модели для контроля и прогнозирования процессов теплопередачи и потери влаги при хранении пористых тел . . . . . 57

*Палванов Б.Ю., Жафаров С., Исламов Ю.Н.*

Моделирование процесса сепарирования сыпучих смесей центробежным сепаратором с учетом изменения коэффициента сопротивления частиц . . . . . 73

*Убайдуллаев М.Ш.*

Моделирование процесса влажного осаждения радиоактивных примесей в атмосфере с использованием модели DERMA . . . . . 91

*Мурадов Ф.А.*

Усовершенствованная математическая модель процесса распространения газовых смесей и аэрозольных частиц в атмосфере и численный алгоритм решения задачи методом физического расщепления . . . . . 105

*Сулуюкова Л.Ф., Ахмеджанова З.И.*

Модели и алгоритмы обработки данных в транспортной логистике сельскохозяйственных регионов с использованием многокритериальных эволюционных алгоритмов . . . . . 125

*Мухамедиева Д.Т., Раупова М.Х.*

Решение сложных задач смешанно-бинарной ограниченной оптимизации . . 137

# Contents

*Ravshanov N., Nasrullaev P.*

Mathematical modeling of pollutant transport and diffusion in the near-surface atmospheric layer with consideration of terrain characteristics . . . . . 5

*Karimov M.M., Karshiev D.A.*

Modeling of the nonlinear groundwater filtration process in a porous medium . . 23

*Ravshanov N., Mahmudov R.Z.*

Analysis of dust composition in the atmospheric air of the city . . . . . 34

*Kholmurodov A.E., Matanov M.Ch.*

Seismic excitation model of half-space propagation of Rayleigh waves . . . . . 45

*Ravshanov N., Shadmanov I.U., Adizova Z.M.*

Development of a mathematical model for monitoring and forecasting heat transfer processes and moisture loss during storage of porous bodies . . . . . 57

*Palvanov B.Y., Jafarov S.K., Islamov Y.N.*

Modeling the separation process of bulk mixtures by a centrifugal separator taking into account the change in the particle resistance coefficient . . . . . 73

*Ubaydullaev M.Sh.*

Modeling the process of wet deposition of radioactive impurities in the atmosphere using the model DERMA . . . . . 91

*Muradov F.A.*

Advanced mathematical model of propagation of gas mixtures and aerosol particles in the atmosphere and numerical solution algorithm based on physical splitting method . . . . . 105

*Sulyukova L.F., Akhmedjanova Z.I.*

Models and algorithms for data processing in transport logistics of agricultural regions using multi-criteria evolutionary algorithms . . . . . 125

*Mukhamediyeva D.T., Raupova M.H.*

Solving complex mixed-binary constrained optimization problems . . . . . 137