



SANOAT KORXONALARIDAN CHIQRILADIGAN ZARARLI GAZLARNING TEXNOGEN TARQALISHINING NAZARIY ASOSLARI

Abbos Shomurodov¹[0009-0007-9796-295X], **Behzod Yorkulov**²[0009-0005-3208-9016]

¹Navoiy innovatsiyalar universiteti, "Iqtisodiyot va axborot texnologiyalari" kafedrası o'qituvchisi,
E-mail: abbos.shomurodov91@gmail.com

²Navoiy innovatsiyalar universiteti, "Iqtisodiyot va axborot texnologiyalari" kafedrası mudiri, PhD.
E-mail: byorkulov@gmail.com

Annotatsiya. Zamonaviy sanoatlashuv va urbanizatsiya jarayonlari atmosferaga chiqariladigan zararli gazlar miqdori hamda tarkibiy xilma-xilligini sezilarli darajada oshirib, inson salomatligi, ekologik muhit va iqlim tizimi barqarorligiga salbiy ta'sir ko'rsatib kelmoqda. Ushbu maqolada sanoat korxonalaridan ajralib chiqadigan zararli gazlarning texnogen tarqalish jarayonlari, ularni belgilovchi asosiy fizik-mexanik omillar hamda mikroiklim sharoitlarining ta'siri kompleks ravishda o'rganilgan. Gazlarning atmosferada vertikal va gorizontal yo'nalishlarda tarqalishi konveksiya, diffuziya va turbulentlik jarayonlari orqali amalga oshadi. Ushbu jarayonlar havo oqimining xususiyatlari, harorat gradiyentlari, shamol tezligi va hududning tabiiy-geografik sharoitlari bilan chambarchas bog'liqdir. Shu bilan birga, mikroiklim omillari — binolar va inshootlar joylashuvi, yer yuzasi xususiyatlari hamda texnogen manbalarning konsentratsiyasi gazlar tarqalishini yanada murakkablashtiradi. Maqolada vertikal va gorizontal dispersiya jarayonlari modellashirilib, ifloslanishning fazoviy taqsimlanishi va xavfli hududlarni aniqlash imkoniyatlari ko'rsatib berilgan. Tadqiqot natijalari atmosferada zararli moddalar tarqalish qonuniyatlarini chuqurroq anglashga, shuningdek, sanoat hududlarida ekologik monitoring tizimlarini takomillashtirish uchun ilmiy asos yaratishga xizmat qiladi.

Kalit so'zlar: zararli gazlar, sanoat chiqindilari, atmosfera ifloslanishi, konveksiya, diffuziya, turbulentlik, mikroiklim, vertikal tarqalish, gorizontal tarqalish, ekologik monitoring.

Аннотация. Современные процессы индустриализации и урбанизации значительно увеличили количество и разнообразие вредных газов, выбрасываемых в атмосферу, что представляет угрозу для здоровья человека, экологической среды и климатической системы. В данной статье изучаются техногенные процессы распространения вредных газов от промышленных предприятий, основные механизмы их переноса и влияние микроклимата. Вертикальное и горизонтальное распределение газов происходит через конвекцию, диффузию и турбулентность, тесно связанных с потоками воздуха, температурными градиентами, скоростью ветра и местными условиями. Условия микроклимата, расположение зданий и сооружений, поверхность земли и техногенные источники усложняют процесс распространения газов. Также моделируются процессы вертикальной и горизонтальной дисперсии, что имеет важное научное и практическое значение для оценки пространственного распределения загрязнения и выявления опасных зон. Статья создает научную основу для понимания распространения вредных веществ в атмосфере и развития экологического мониторинга на промышленных территориях.

Ключевые слова: вредные газы, промышленные выбросы, загрязнение атмосферы, конвекция, диффузия, турбулентность, микроклимат, вертикальное распространение, горизонтальное распространение, экологический мониторинг.

Abstract. Modern industrialization and urbanization processes have significantly increased the quantity and diversity of harmful gases released into the atmosphere, posing a threat to human health, the ecological environment, and the climate system. This article examines the technogenic processes of harmful gas dispersion from industrial enterprises, the main mechanisms of their transport, and the influence of microclimate. The vertical and horizontal distribution of gases occurs through convection, diffusion, and turbulence, which are closely related to air flow, temperature gradients, wind speed, and local conditions. Microclimate conditions, the layout of buildings and structures, ground surface, and technogenic sources complicate gas dispersion. Vertical and horizontal dispersion processes are also modeled, which is of significant scientific and practical importance for assessing the spatial distribution of pollution and identifying hazardous zones. The article provides a scientific foundation for understanding the dispersion of harmful substances in the atmosphere and developing ecological monitoring in industrial areas.



Keywords: harmful gases, industrial emissions, atmospheric pollution, convection, diffusion, turbulence, microclimate, vertical dispersion, horizontal dispersion, ecological monitoring.

Kirish

Hozirgi kunda sanoatning jadal rivojlanishi va urbanizatsiya jarayonlarining kengayishi natijasida atmosfera havosining ifloslanishi global muammolardan biriga aylanib bormoqda. Ayniqsa, sanoat korxonalaridan atmosferaga chiqariladigan zararli gazlar va aerezollar inson salomatligiga, atrof-muhitga hamda iqlim tizimiga salbiy ta'sir ko'rsatmoqda. Ushbu ifloslantiruvchi moddalar atmosfera oqimlari bilan tarqalib, katta hududlarga yoyilishi va uzoq muddat davomida saqlanib qolishi mumkin [1].

Zararli gazlarning atmosferada tarqalish jarayonlari murakkab fizik hodisalar majmuasidan iborat bo'lib, ular asosan konveksiya, diffuziya va turbulentlik kabi jarayonlar orqali amalga oshadi. Ushbu jarayonlar havo harakati, harorat farqlari, shamol tezligi va yo'nalishi kabi meteorologik omillar bilan chambarchas bog'liqdir. Shu bilan birga, sanoat hududlarida shakllanadigan mikroiklim sharoitlari, binolar va inshootlar joylashuvi, yer sathi xususiyatlari ham ifloslantiruvchi moddalar tarqalishiga sezilarli ta'sir ko'rsatadi [2].

Ushbu yo'nalishda olib borilgan ilmiy tadqiqotlarda ifloslantiruvchi moddalarning tarqalish mexanizmlari, ularning atmosfera qatlamlaridagi harakati va meteorologik omillar ta'siri keng tahlil qilingan. Jumladan, Schlutow M., Chew R., Göckede M. tomonidan olib borilgan tadqiqotlarda atmosfera kimyosi va ifloslantiruvchi moddalarning fizik tarqalish jarayonlari batafsil yoritilib, konveksiya, diffuziya va turbulentlik asosiy mexanizmlar sifatida ko'rsatilgan [3]. Shu yo'nalishda Tominaga Y., va Stathopoulos T. tomonidan amalga oshirilgan ishlarda zararli gazlarning global miqyosdagi harakati va ularning atmosfera oqimlari bilan bog'liqligi o'rganilgan [4], bu esa ularning nafaqat lokal, balki keng hududlarga tarqalishini tushuntirishga imkon beradi. Salizzoni P. va boshqalar esa o'z tadqiqotlarida atmosfera ifloslanishini modellashtirishda matematik yondashuvlarning rolini asoslab, adveksiya-diffuziya tenglamalarining amaliy qo'llanilishini ko'rsatgan [5].

Atmosferada zararli gazlarning tarqalishini hisoblashda klassik modellar ham keng qo'llaniladi. Xususan, Gaus modeli ifloslantiruvchi moddalarning konsentratsiyasini aniqlashda samarali bo'lib, barqaror sharoitlarda yuqori aniqlik beradi [6]. Sutton va Berlyand modellarida esa turbulentlik va meteorologik omillar ta'siri hisobga olinib, murakkab sharoitlarda gazlarning tarqalishi tahlil qilingan [7,8]. Keyingi tadqiqotlarda turbulent jarayonlarning roli yanada chuqur o'rganilib, Holmes N.S. va Morawska L. tomonidan atmosfera chegaraviy qatlamidagi turbulentlik va uning ifloslantiruvchi moddalarga ta'siri batafsil yoritilgan [9]. Mazkur yondashuvlar sanoat hududlarida gazlarning vertikal va gorizontalar tarqalish mexanizmlarini tushunishda muhim nazariy asos vazifasini bajaradi.

Biroq, ko'plab tadqiqotlarda mikroiklim omillarining, xususan binolar, yer sathi va texnogen issiqlik manbalarining kompleks ta'siri yetarli darajada hisobga olinmagan. Fernando H. va boshqalar tomonidan olib borilgan tadqiqotlar shahar mikroiklimi havo oqimlari va ifloslantiruvchi moddalarning tarqalishiga sezilarli ta'sir ko'rsatishini tasdiqlaydi [10].

Shu sababli, zararli gazlarning tarqalishini baholash va prognoz qilish masalasi ekologik xavfsizlikni ta'minlashda muhim ahamiyat kasb etadi hamda mikroiklim va texnogen omillarni kompleks hisobga olgan holda o'rganishni talab etadi. Ushbu maqolaning maqsadi sanoat korxonalaridan atmosferaga chiqariladigan zararli gazlarning texnogen tarqalish jarayonlarini o'rganish, ularni tavsiflovchi asosiy fizik mexanizmlarni tahlil qilish hamda mikroiklim omillarining ta'sirini aniqlashdan iborat. Bu tadqiqot natijalari sanoat hududlarida havoning qanchalik ifloslanganini aniqlashga, uni oldindan hisoblashga va kuzatish tizimlarini yaxshilashga yordam beradi.



Usul va uslubiyatlar

Mazkur tadqiqot sanoat korxonalaridan atmosferaga chiqariladigan zararli gazlarning tarqalish jarayonlarini tahlil asosida o'rganishga qaratilgan bo'lib, unda fizik qonuniyatlarga asoslangan matematik modellarni o'rganish va baholash yondashuvi qo'llanildi. Tadqiqot davomida zararli gazlarning atmosfera muhitida harakatini ifodalovchi asosiy ilmiy yondashuvlar va tenglamalar tizimli tarzda tahlil qilindi.

Atmosferada ifloslantiruvchi moddalarning tarqalishini tushuntirishda adveksiya va diffuziya jarayonlarini ifodalovchi umumiy tenglama nazariy asos sifatida ko'rib chiqildi:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \vec{v} \cdot \nabla C = D \nabla^2 C + S \quad (1)$$

bu yerda C — zararli modda konsentratsiyasi, \vec{v} — havo oqimi tezligi, D — diffuziya koeffitsienti, S — manba intensivligi. Ushbu tenglama ifloslantiruvchi moddalarning atmosferadagi fazoviy-vaqt bo'yicha o'zgarishini ko'rsatuvchi asosiy model sifatida ilmiy manbalarda keng qo'llaniladi [11-13].

Atmosfera oqimlarining murakkab harakatini ifodalashda Navye–Stoks tenglamalari asosidagi yondashuvlar ham nazariy jihatdan baholandi. Turbulent oqimlarda tezlikning o'rtacha va o'zgaruvchan komponentlarga ajralishi gazlarning aralashish jarayonini chuqurroq anglash imkonini beradi [14,15].

Zararli gazlarning fazoviy tarqalishini baholashda klassik dispersiya modellarining nazariy asoslari ham ko'rib chiqildi. Xususan, Gaus modeli ifloslantiruvchi moddalarning konsentratsiyasini aniqlashda keng qo'llaniladigan yondashuv sifatida tahlil qilindi. Ushbu model quyidagi ifoda orqali beriladi:

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \left[\exp\left(-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right) \right] \quad (2)$$

bu yerda Q — modda chiqarilish intensivligi, u — shamol tezligi, $\sigma_y\sigma_z$ — dispersiya koeffitsientlari, H — manba balandligi. Mazkur model orqali zararli gazlarning atmosferada taqsimlanish xususiyatlari nazariy jihatdan izohlanadi [16,17].

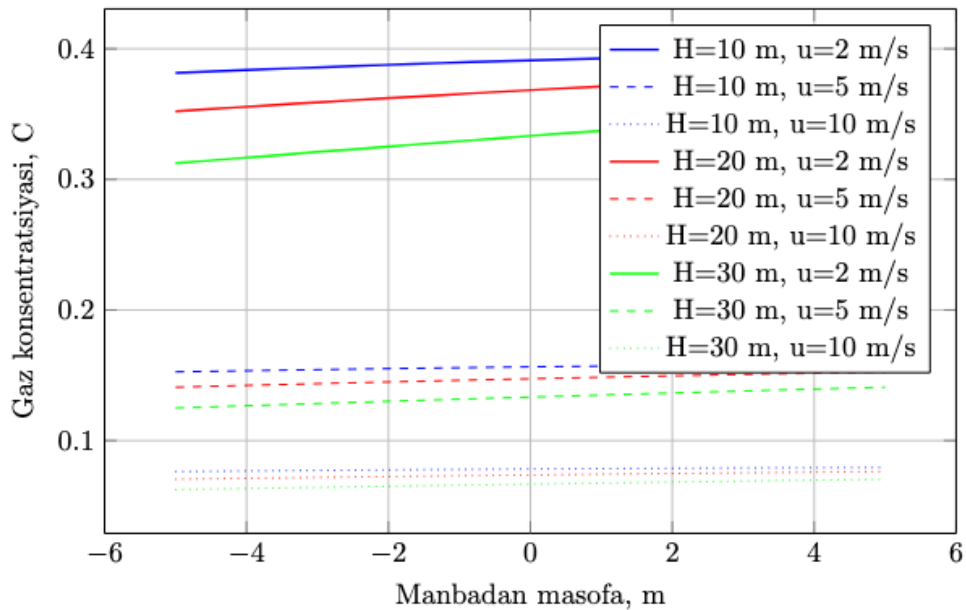
Shuningdek, tadqiqotda konveksiya, diffuziya va turbulentlik jarayonlarining o'zaro ta'siri asosida gazlarning vertikal va gorizontal yo'nalishlarda tarqalish mexanizmlari ilmiy manbalar asosida umumlashtirildi. Bu jarayonlarga shamol tezligi, harorat gradienti va atmosfera barqarorligi kabi omillarning ta'siri alohida e'tiborga olindi [18,19].

Sanoat hududlarida shakllanadigan mikroiklim sharoitlarining zararli gazlar dispersiyasiga ta'sirini aniqlashda hududiy xususiyatlar, jumladan yer sathi tuzilishi, binolar joylashuvi va texnogen issiqlik manbalari nazariy jihatdan tahlil qilindi. Ushbu omillar havo oqimining tuzilishini o'zgartirib, ifloslantiruvchi moddalarning notekis taqsimlanishiga olib kelishi ilmiy ishlarda qayd etilgan [20].

Natijada, ushbu tadqiqotda qo'llanilgan uslubiy yondashuv zararli gazlarning tarqalish jarayonlarini tavsiflovchi mavjud matematik modellarni tizimlashtirish, ularning o'zaro bog'liqligini ochib berish hamda sanoat hududlarida atmosfera ifloslanishini baholashning nazariy asoslarini shakllantirishga xizmat qiladi [11-20].

Natijalar. Tadqiqot natijalari zararli gazlarning sanoat hududlarida tarqalish mexanizmlarini nazariy jihatdan tahlil qilish asosida olingan. Adveksiya-diffuziya tenglamasi [12,13] yordamida turli sharoitlarda gazlarning konsentratsiya taqsimoti o'rganildi. Hisob-kitoblardan ko'rinib turibdiki, shamol tezligi va yo'nalishi, shuningdek atmosfera barqarorligi, gazlarning vertikal va gorizontal tarqalish diapazonini sezilarli darajada belgilaydi [18,19].

Klassik Gaus modeli [16,17] orqali baholash natijalari shuni ko'rsatadiki, manba balandligi va dispersiya koeffitsientlari ($\sigma_y\sigma_z$) ifloslanish hududining kengligini va gazlarning konsentratsiyasining maksimal qiymatlarini belgilaydi. Shuningdek, vertikal tarqalishda binolar va inshootlar joylashuvi, yer sathi tuzilishi va texnogen issiqlik manbalari ta'siri muhim rol o'ynaydi [20].



1-rasm. Zararli gaz tarqalishi.

Manba balandligi oshishi va shamol tezligi o'zgarishi gazlarning vertikal va gorizontalar tarqalish diapazoniga sezilarli ta'sir qiladi (1-rasm).

Navye–Stoks tenglamalari asosida tahlil qilingan turbulent oqimlar [14,15] zararli gazlarning aralashishi va konsentratsiya gradientining hududiy o'zgarishini yanada aniqlashtirish imkonini berdi. Turbulentlik jarayonlari bilan ifloslantiruvchi moddalarning yuqoriga va yon tomonlarga tarqalishi murakkab atmosfera sharoitida ham aniqlik bilan bashorat qilindi [15].

Shuningdek, mikroiklim sharoitlari [20] havo oqimi tuzilishini o'zgartirib, ba'zi hududlarda yuqori konsentratsiyali "hotspot" zonalarni hosil qiladi. Bu hududlarda gazlarning konsentratsiyasi odatdagi modellarga nisbatan keskin o'zgarishi mumkin.

Tadqiqot faqat nazariy modellar asosida olib borilgan, real sinov va eksperimental ma'lumotlar bilan solishtirilmagan. Bu, ba'zi hududlardagi mikroiklim ta'sirini to'liq hisobga olish imkoniyatini cheklaydi. Dispersiya modellarida ba'zi murakkab shahar sharoitlari va binolar tuzilishi yetarlicha e'tiborga olinmagan [16-20]. Turbulentlik va atmosfera o'zgarishlari bilan bog'liq ba'zi noaniqliklar matematik modellar natijalariga ta'sir qilishi mumkin [14-15].

Natijada, tadqiqot shuni ko'rsatadiki, sanoat hududlarida zararli gazlarning konsentratsiyasi nafaqat manba intensivligi, balki yer sathi tuzilishi, binolar joylashuvi va atmosfera sharoitlariga bog'liq holda o'zgaradi. Ushbu natijalar sanoat hududlarida ekologik monitoring va xavfni baholash tizimlarini takomillashtirish uchun asos bo'lib xizmat qiladi.

Xulosa

Tahlillar shuni bildiradiki, sanoat korxonalaridan chiqadigan zararli gazlar havoda turli yo'llar bilan tarqaladi, ularning harakati esa havo oqimi, shamol tezligi, harorat farqlari va atrof-muhit sharoitlariga bog'liq. Gazlar konsentratsiyasi hududga qarab o'zgaradi va ba'zi joylarda yuqori darajada to'planishi mumkin. Mavjud nazariy modellar yordamida ifloslanishning hududiy taqsimoti tushuntirildi, bu esa xavfli zonalarni aniqlash imkonini beradi. Shu bilan birga, shahar infratuzilmasi va mikroiklim sharoitlarini hisobga olgan holda qo'shimcha tadqiqotlar olib borish kelajakda zarur bo'ladi. Ushbu ish sanoat hududlarida ekologik monitoring va zararli gazlarning tarqalishini kuzatish tizimlarini yanada samarali qilishga asos bo'ladi.



Foydalanilgan adabiyotlar ro'yhati:

- [1]. Baklanov A., Grimmond C. S. B., Mahura A., Athanassiadou M. Meteorological and Air Quality Models for Urban Areas. Atmospheric Chemistry and Physics. 2011. Vol. 11.
- [2]. Britter R., Hanna S. Flow and dispersion in urban areas. Annual Review of Fluid Mechanics. 2003. Vol. 35.
- [3]. Schlutow M., Chew R., Göckede M. The Boundary Layer Dispersion and Footprint Model: A fast numerical solver of the Eulerian steady-state advection–diffusion equation // EGU sphere [preprint]. – 2025.
- [4]. Tominaga Y., Stathopoulos T. CFD simulation of near-field pollutant dispersion in the urban environment: A review of current modeling techniques. Atmospheric Environment. 2013. Vol.716-730.
- [5]. Salizzoni P., Soulhac L., Mejean P., Perkins R. J. Influence of a two dimensional street canyon on turbulent pollutant dispersion. Boundary Layer Meteorology. 2009. Vol. 131.
- [6]. Blocken B., Tominaga Y., Stathopoulos T. CFD simulation of micro-scale pollutant dispersion in the built environment. Building and Environment. 2013. Vol. 225-230.
- [7]. Lateb M., Meroney R. N., Yataghene M., Fellouah H., Saleh F., Boufadel M. On the use of numerical modelling for near-field pollutant dispersion in urban environments – A review. Environmental Pollution. 2016. Vol. 271-283.
- [8]. Zhang Y., Bocquet M., Mallet V., Seigneur C., Baklanov A. Real time air quality forecasting, part I: History, techniques, and current status. Atmospheric Environment. 2012. Vol.632-655.
- [9]. Holmes N. S., Morawska L. A review of dispersion modelling and its application to the dispersion of particles: An overview of different dispersion models available. Atmospheric Environment. 2006. Vol. 5902-5928.
- [10]. Fernando H. J. S., Zajic D., Di Sabatino S., Dimitrova R., Hedquist B., Dallman A. Flow, turbulence, and pollutant dispersion in urban atmospheres. Physics of Fluids. 2010. Vol. 22. 051301. DOI: 10.1063/1.3439682
- [11]. Grimmond C. S. B., Christen A., Best M. J., Crawford B., Dayan U., Desai M. M., Harlow C., Huttner S., Järvi L., Voogt J. A., Young D. P. Climate and more sustainable cities: Climate information for improved planning and management of cities. Procedia Environmental Sciences. 2010. Vol. 1.
- [12]. Wilson J. D., Sawford B. L. Review of Lagrangian stochastic models for trajectories in the turbulent atmosphere. Boundary Layer Meteorology. 1996. Vol. 191-210.
- [13]. Chuprov I., Derkach D., Efremenko D., Kychkin A. Application of Physics Informed Neural Networks for Solving the Inverse Advection Diffusion Problem // arXiv. – 2025.
- [14]. Biferale L., Cencini M., Lanotte A. S., Toschi F. Extreme vertical drafts as drivers of Lagrangian dispersion in stably stratified turbulent flows // arXiv. – 2025. – arXiv:2503.01259.
- [15]. Castro I. P., Robins A. G. Atmospheric boundary layer over urban roughness: validation of LES // arXiv. – 2025. – arXiv:2502.08177.
- [16]. Yin Z., Shahmoradi B., Klemm O., Frank H. P. CFD simulation of atmospheric dispersion in an urban street canyon using RANS models // Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. – 2020. – Vol. 204. – 104300.
- [17]. Gurjar P. S., Shah S. R. Mathematical Modelling of Atmospheric Pollutant Dispersion under Steady State Conditions with Constant Eddy Diffusivity // RESEARCH REVIEW International Journal of Multidisciplinary. – 2025. – Vol. 10, No. 5.



[18]. Li X., Meroney R. N. Wind tunnel study of source location effects on pollutant dispersion in street canyons // Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. – 2011. – Vol. 99.

[19]. Li Y., Wang X., Zhang Y. Large eddy simulation of flow field and pollutant diffusion around buildings // Process Safety and Environmental Protection. – 2024. – Vol. 184.

[20]. Moghaddam B. P., Zaky M. A., Mendes Lopes A., Galhano A. A Fractional Time–Space Stochastic Advection–Diffusion Equation for Modeling Atmospheric Moisture Transport at Ocean–Atmosphere Interfaces // Fractal and Fractional. – 2025. – Vol. 9, No. 4. – 211.