

Прогнозування рівня діоксиду сірки в атмосфері від стаціонарних та пересувних джерел забруднення

Тетяна Русакова 

Purpose. Analysis of the dynamics of changes in the amount of sulfur dioxide entering the atmosphere from stationary and mobile sources of pollution. **Design / Method / Approach.** The research methodology is based on the use of descriptive statistical methods to establish mathematical dependencies for forecasting the entry of sulfur dioxide into the atmosphere from stationary and mobile sources of pollution. **Findings.** Volumes of sulfur dioxide from stationary sources are greater than volumes from mobile sources, constant monitoring of air quality in the city is necessary. Stimulating actions on the part of state, regional and local authorities are necessary to reduce the entry of sulfur dioxide into the atmosphere from transport and equipment running on fuel with a high sulfur content. **Theoretical Implications.** Mathematical dependencies have been obtained for forecasting the amount of sulfur dioxide entering the atmosphere from stationary and mobile sources of pollution. **Practical Implications.** The trend of changes in the volume of sulfur dioxide intake from stationary sources of pollution for the period of 2016-2023 in Ukraine is decreasing, but in 2023 there was an increase in volumes by 7,7% compared to 2022. The trend of changes in these volumes in the Dnipropetrovsk region is not unambiguous. In 2023, the volume of sulfur dioxide increased by 57,6% compared to 2022. Over the past two years, the amount of sulfur dioxide from mobile sources of pollution has decreased by 27% due to a 28% decrease in the total number of newly registered vehicles in Ukraine for the specified years. **Originality / Value.** The analysis of statistical data is simultaneously based on the elements of descriptive statistics, on the mathematical dependencies of the dynamics of changes in the volume of sulfur dioxide entering the atmospheric air from various sources of pollution, and on the graphical presentation of statistical data. **Research Limitations / Future Research.** Future research will be aimed at establishing mathematical relationships between the volumes of sulfur dioxide from mobile sources of pollution and the species composition of transport. **Paper Type.** Empirical Paper.

Keywords:

sulfur dioxide, atmospheric air, pollution sources, air quality monitoring, descriptive statistics

Contributor Details:

Tetiana Rusakova, Prof., Dr.Sc., Oles Honchar Dnipro National University: Dnipro, UA, rusakova_t@365.dnu.edu.ua



Розвиток економіки та зростаючі темпи урбанізації призводять до збільшення промислового сектору виробництва, який нарощує свої потужності з метою задовольнити потреби населення в товарах споживання та підвищити економічний рівень країни. Підвищення матеріального та соціально-економічного рівня одночасно приводить до збільшення шкідливих викидів, що надходять в навколишнє середовище від різних виробництв та транспортних засобів. За обсягами викидів переважають: діоксид вуглецю, оксид вуглецю, оксиди сірки та азоту, а також органічні сполуки, метан, сажа. За статистичними даними державної служби статистики України загальні обсяги викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря впродовж 2016-2023 років в середньому від стаціонарних джерел викидів становлять 2430,5 тис. т. на рік, від пересувних – 1557,5 тис. т. на рік. Частка викидів від пересувних джерел по відношенню до стаціонарних поступово зростає від 52,3% у 2016 році до 68,5% у 2023 році, що говорить про збільшення у населення вживаного автотранспорту з двигунами внутрішнього згорання.

Діоксид сірки в навколишньому середовищі утворюється при спалюванні палива, що містить сірку. До джерел, що використовують таке паливо відносяться: автомобілі, кораблі, дизельне обладнання, що працює на паливі з високим вмістом сірки. Також діоксид сірки викидається в атмосферне повітря під час деяких промислових процесів: видобуток природного газу та нафти, нафтопереробка, переробка сульфідних руд, хімічні процеси, а також під час вулканічної діяльності. Діоксид сірки SO_2 є помірно небезпечним, але токсичним газом, який безпосередньо шкодить здоров'ю людини. Він важчий за повітря та має задушливий запах, при концентрації в атмосфері більше 500 mg/m^3 може бути смертельним. При більш низьких рівнях можуть виникати болі в грудях, проблеми з диханням, подразнення очей, а також погіршення стану здоров'я у людей, що мають серцево-легеневі захворювання. При рівнях концентрації 20 mg/m^3 або нижче не повинно виникати шкідливих наслідків для здорової людини. Нормальна фоновая концентрація SO_2 в атмосфері зазвичай становить менше $1,1 \dots 10 \text{ mg/m}^3$.

Утворення сульфатів у формі аерозолів або дуже дрібних частинок у повітрі можуть призводити до посиленням нападів астми, серцево-легеневих захворювань і проблем з диханням. На віддалені від джерела викидів оксиди сірки можуть перетворюватимуться на кислоти в результаті реакцій водної фази в атмосфері. Ці кислотні аерозолі зрештою випадають у вигляді кислотних дощів, снігу або туману за відповідних метеорологічних умов. Підкислення ґрунтових і поверхневих вод призводить до виведення важких металів, знищення життя та руїнації будівель в містах.

Аналіз останніх досліджень

У зв'язку з вищевказаними наслідками впливу діоксиду сірки на людину та природне середовище, значна увага в світі приділяється дослідженню надходження SO_2 в навколишнє середовище, способам моніторингу та контролю, а також впливу на стан здоров'я населення. Так, в роботі (Ireaiyeda & Adegboyege, 2017, с. 5-7) проведене дослідження показало, що антропогенна

діяльність, така як спалювання викопного палива та діяльність людей в комерційних, житлових і промислових зонах відіграють велику роль у підвищенні фонових концентрацій SO_2 до 15 разів. Наукові дані показують, що люди, які проживають, працюють і навчаються в межах 150 – 300 метрів від автомагістралей постійно перебувають в зоні забрудненого повітря, що спричиняє проблеми зі здоров'ям, включаючи легеневі захворювання, інсульт та передчасні пологи (Samuels & Freemark, 2021, с. 12-15). Проаналізовано вплив трафіку руху міського та приватного транспорту на забруднення атмосферного повітря, що знижує рівень громадського здоров'я (Commodore та ін., 2021, с. 4-5).

Оцінено вплив швидкості вітру, його напрямку та фонові концентрації на концентрацію забруднюючих речовин поблизу доріг (Baldwin та ін., 2015, с. 224). Проведено аналіз забруднюючих речовин поблизу великих доріг у житлових, комерційних та промислових районах міста (Ireaiyeda & Adegboyega, 2017, с. 5-7). Також показано, що хоча SO_2 легко окислюється до сірчаної кислоти, як правило, протягом декількох тижнів, але SO_2 відіграє набагато активнішу роль у ініціюванні та контролі глобальної потепління (Hausfather, 2024). Окрім парникових газів (таких як вуглекислий газ), які сприяють зміні клімату, в атмосферне повітря надходить багато інших газів, включаючи оксиди сірки та азоту. Існує багато наукових доказів того, що заходи щодо зменшення цих забруднюючих речовин покращують якість повітря, але, в той же час, сприяють прискоренню глобального потепління, оскільки вони призводять до усунення охолоджуючого ефекту цих газів. До цих пір регулювання зміни клімату та якості повітря обговорювались незалежно. В роботі (Kontovas, 2020, с. 3) проведено оцінювання впливу заходів щодо поліпшення якості повітря на зміни клімату, і навпаки.

Мета та завдання

Метою даного дослідження є аналіз динаміки зміни обсягів надходження діоксиду сірки в атмосферне повітря від стаціонарних та пересувних джерел забруднення. Оцінити, як співвідносяться між собою викиди SO_2 від різних джерел надходження і чим це може бути обумовлено.

Матеріали та методи

В даній роботі на першому етапі дослідження за статистичною інформацією державної служби статистики України (Набори даних | Державна служба статистики України, 2024) та Дніпропетровської області (dnepstat.gov.ua, 2024) щодо викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря було проаналізовано динаміку зміни обсягів надходження діоксиду сірки в атмосферне повітря від стаціонарних джерел забруднення окремо та у співвідношенні між собою за 2016-2023 роки, що показано на рисунках 1-3. Тенденція зміни обсягів SO_2 у атмосферне повітря за період 2016-2024 років від стаціонарних джерел забруднення дуже добре описується логарифмічною залежністю (1) з величиною достовірності 0,8988 (рис. 1, крива 3).

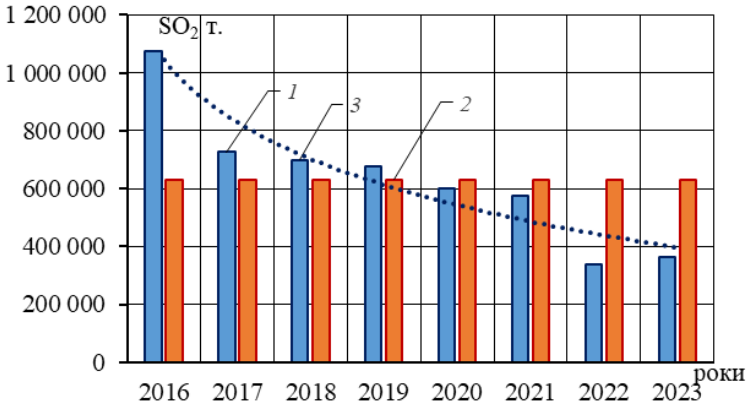


Рисунок 1 – Динаміка зміни обсягів надходження SO₂ у атмосферне повітря за період 2016-2024 років від стаціонарних джерел забруднення по Україні (Джерело: Автор): 1 – статистичні дані; 2 – середнє значення; 3 – лінія тренду

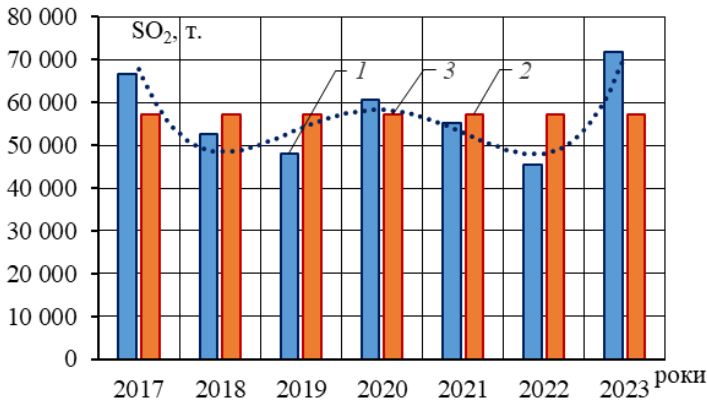


Рисунок 2 – Динаміка зміни обсягів надходження SO₂ у атмосферне повітря за період 2016-2024 років від стаціонарних джерел забруднення по Дніпропетровській області (Джерело: Автор): 1 – статистичні дані; 2 – середнє значення; 3 – лінія тренду

Середнє значення обсягів діоксиду сірки від стаціонарних джерел забруднення за вказаний період складає 63 1966,2 т. на рік. Найменше значення 33 8434,1 т. спостерігалось у 2022 році, що пов'язано із зупинкою багатьох виробництв в Україні в наслідок військової ситуації. У 2023 році відбулося збільшення обсягів на 7,7% в порівнянні з 2022 роком, скільки промисловий сектор відновлює свої потужності виробництва.

$$y_1(x) = -3 \cdot 10^5 \cdot \ln(x) + 10^6, \quad (1)$$

де x – роки, $y_1(x)$ – обсяги SO_2 в тонах від стаціонарних джерел забруднення по Україні.

На рисунку 2 наведено розподіл обсягів надходження SO_2 у атмосферне повітря за період 2017-2024 років від стаціонарних джерел забруднення по Дніпропетровській області. В 2016 році ці обсяги становили 18 1911,7 т., що в декілька разів перевищувало обсяги 2017-2023 років, тому для більш об'єктивного дослідження ці обсяги вилучено із розгляду.

Тенденція зміни обсягів SO_2 представлена поліномом четвертого порядку (2), що з точністю $R^2 = 0,876$ описує динаміку зміни цих обсягів.

Середнє значення обсягів діоксиду сірки від стаціонарних джерел забруднення за вказаний період по Дніпропетровській області складає 57 235,3 т. на рік. Найменші значення спостерігалися у 2019 та 2022 році, відповідно 48 154,4 т. та 45 531,1 т. У 2023 році також відбулося збільшення обсягів SO_2 на 57,6% в порівнянні з 2022 роком, що перевищило показники 2017 та 2020 років. Підприємства Дніпропетровської області відновлюють свої потужності, але викиди SO_2 є достатньо значними, що може свідчити про збільшення використання ресурсів із значним вмістом сірки та збільшенням негативного впливу на навколишнє середовище.

$$y_2(x) = 745.8 \cdot x^4 - 11800 \cdot x^3 + 64520 \cdot x^2 - 141345 \cdot x + 155577, \quad (2)$$

де x – роки, $y_1(x)$ – обсяги SO_2 в тонах від стаціонарних джерел забруднення по Дніпропетровській області.

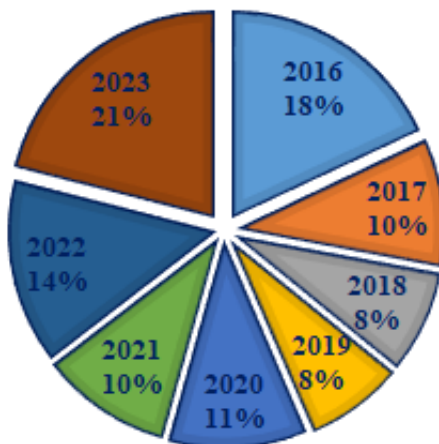


Рисунок 3 – Частка викидів SO_2 від стаціонарних джерел забруднення Дніпропетровської області по відношенню до загальних обсягів SO_2 по Україні (Джерело: Автор)

Для більш детального розуміння частки викидів діоксиду сірки від стаціонарних джерел Дніпропетровської області по відношенню до загальних обсягів викидів по Україні побудовано кругову діаграму на рисунку 3. Можна бачити, що найбільші надходження спостерігалися у 2016 році – 18% та у 2023 році – 21%, що складає п'яту частину усіх обсягів SO₂ по Україні, тому що Дніпропетровська область є потужним промисловим центром України.

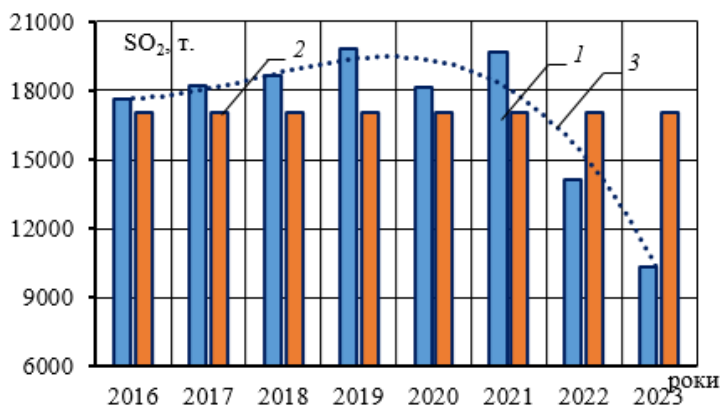


Рисунок 4 – Динаміка зміни обсягів надходження SO₂ у атмосферне повітря за період 2016-2024 років від пересувних джерел забруднення по Україні (Джерело: Автор): 1 – статистичні дані; 2 – середнє значення; 3 – лінія тренду

На другому етапі дослідження за статистичною інформацією державної служби статистики України, щодо викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря, було проаналізовано динаміку зміни обсягів надходження діоксиду сірки в атмосферне повітря від пересувних джерел забруднення за 2016-2023 роки, що показано на рисунку 4. Тенденція зміни цих обсягів SO₂ представлена поліномом третього порядку (3), що з точністю R² = 0,9307 описує динаміку зміни цих обсягів. Середнє значення обсягів діоксиду сірки від пересувних джерел забруднення за вказаний період по Україні складає 17 070,9 т. на рік. Найбільші значення спостерігалися у 2019 та 2021 році, відповідно 19 803,2 т. та 19 643,3 т., а найменші у 2022 та 2023 роках, відповідно 14 143,2 т. та 10 324,5 т. Тенденція зміни обсягів SO₂ від пересувних джерел забруднення має спадний характер за останні два роки, в середньому на 27%, що обумовлено зменшенням загальної кількості транспортних засобів вперше зареєстрованого в Україні за вказані роки на 28% (рис. 5).

$$y_3(x) = -83.3 \cdot x^3 + 668 \cdot x^2 - 1017.2 \cdot x + 18105, \quad (3)$$

де x – роки, $y_1(x)$ – обсяги SO₂ в тонах від пересувних джерел забруднення по Україні.

Хоча обсяги надходження діоксиду сірки від пересувних джерел забру-

днення складають лише 3-5% в порівнянні з обсягами від стаціонарних джерел, але ці викиди зосереджуються на рівні органів дихання людини, що негативно впливає на її здоров'я.

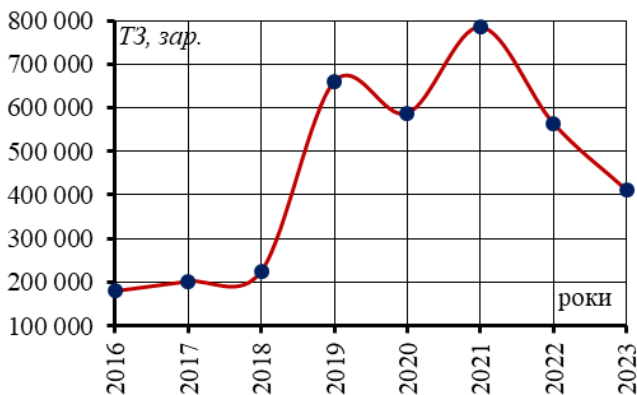


Рисунок 5 – Динаміка зміни кількості зареєстрованих в Україні транспортних засобів за період 2016-2023 роки (Джерело: Автор)

Результати

Дослідження в даній роботі, дозволили отримано наступні результати:

1. Встановлено закономірності зміни обсягів надходження в атмосферне повітря діоксиду сірки від стаціонарних джерел забруднення за період 2016-2023 років. Тенденція зміни обсягів SO_2 по Україні має спадний характер, хоча у 2023 році відбулося збільшення обсягів на 7,7% в порівнянні з 2022 роком. Тенденція зміни цих обсягів по Дніпропетровській області не має однозначного характеру. Так у 2023 році відбулося збільшення обсягів SO_2 на 57,6% в порівнянні з 2022 роком, що перевищило показники 2017 та 2020 років.

2. Встановлено закономірності зміни обсягів надходження в атмосферне повітря діоксиду сірки від пересувних джерел забруднення за період 2016-2023 років. За останні два роки обсяги надходження SO_2 від пересувних джерел забруднення зменшилися на 27% за рахунок зменшенням на 28% загальної кількості транспортних засобів вперше зареєстрованого в Україні за вказані роки.

Висновки

Дане дослідження показує, що обсяги надходження SO_2 від стаціонарних джерел є переважаючими над обсягами від пересувних джерел забруднення, тому необхідний постійний моніторинг якості повітря на території міста, де розміщується багато промислових підприємств. А також необхідні

стимулюючі дії зі сторони державних, регіональних та місцевих органів управління щодо зменшення викидів SO₂ від автомобільного транспорту, а особливо від транспорту, що працює на мазуті та дизельному паливі.

Посилання

- Baldwin, N., Gilani, O., Raja, S., Batterman, S., Ganguly, R., Hopke, P., Berrocal, V., Robins, T., & Hoogterp, S. (2015). Factors affecting pollutant concentrations in the near-road environment. *Atmospheric Environment*, 115, 223–235. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.05.024>
- Commodore, S., Ferguson, P. L., Neelon, B., Newman, R., Grobman, W., Tita, A., Pearce, J., Bloom, M. S., Svendsen, E., Roberts, J., Skupski, D., Sciscione, A., Palomares, K., Miller, R., Wapner, R., Vena, J. E., & Hunt, K. J. (2020). Reported Neighborhood Traffic and the Odds of Asthma/Asthma-Like Symptoms: A Cross-Sectional Analysis of a Multi-Racial Cohort of Children. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(1), 243. <https://doi.org/10.3390/ijerph18010243>
- Hausfather, Z., & Forster, P. (2023). *Analysis: How low-sulphur shipping rules are affecting global warming*. Carbon Brief. <https://www.carbonbrief.org/analysis-how-low-sulphur-shipment-rules-are-affecting-global-warming/>
- Ipeaiyeda, A. R., & Adegboyega, D. A. (2017). Assessment of Air Pollutant Concentrations Near Major Roads in Residential, Commercial and Industrial Areas in Ibadan City, Nigeria. *Journal of Health and Pollution*, 7(13), 11–21. <https://doi.org/10.5696/2156-9614-7-13.11>
- Kontovas, C. A. (2020). Integration of air quality and climate change policies in shipping: The case of sulphur emissions regulation. *Marine Policy*, 113, 103815. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2020.103815>
- Samuels, G., & Freemark, Y. (2022). *The Polluted Life Near the Highway*. Urban Institute. <https://www.urban.org/sites/default/files/2022-11/The%20Polluted%20Life%20Near%20the%20Highway.pdf>
- Головне управління статистики у Дніпропетровській області. (2024). [dneprstat.gov.ua](http://www.dneprstat.gov.ua). Головне управління статистики у Дніпропетровській області. <http://www.dneprstat.gov.ua/statinfo/ns/>
- Держстат. (2023). *Набори даних. Державна служба статистики України*. [https://stat.gov.ua/index.php/uk/datasets?f\[0\]=ds_topics:188&f\[1\]=ds_topics:199](https://stat.gov.ua/index.php/uk/datasets?f[0]=ds_topics:188&f[1]=ds_topics:199)