

КАЧЕСТВОТО НА ВЪЗДУХА – ОСНОВЕН ПРОБЛЕМ НА МОДЕРНОТО ОБЩЕСТВО

Алекс Радев

Университет по библиотекознание и информационни технологии

Резюме: *Замърсяването на атмосферния въздух е сред водещите екологични предизвикателства в съвременните градове, с доказани негативни последици за човешкото здраве и околната среда. Целта на настоящата публикация е да адресира важността на проблема с качеството на атмосферния въздух и неговите последици, да систематизира основните замърсители на въздуха, техните източници и въздействие, както и да представи съществуващите подходи за мониторинг и контрол.*

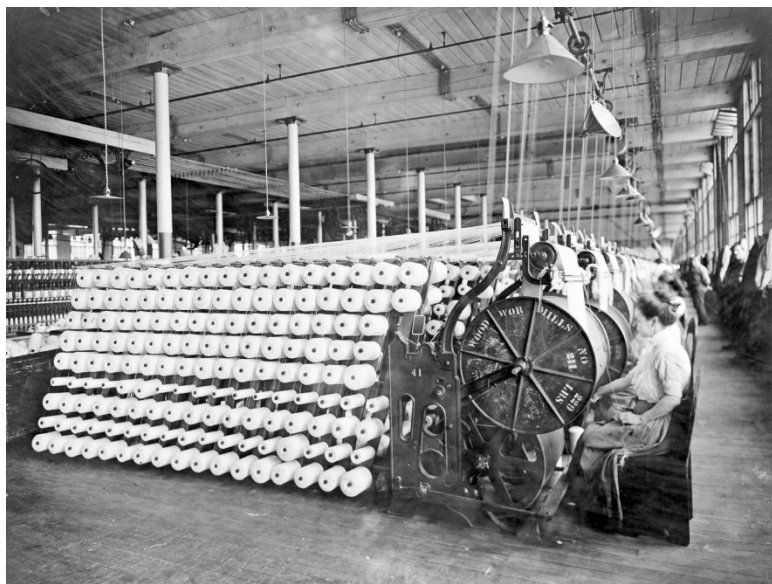
Изследването е проведено чрез литературен обзор на научни публикации, нормативни документи и данни на официални институции в областта на качеството на въздуха.

Анализът показва, че основните замърсители в градска среда включват прахови частици (ФПЧ_{2.5} и ФПЧ₁₀), азотни оксиди, въглероден оксид и летливи органични съединения (VOC), произхождащи основно от транспорт, производство на енергия и битово отопление. Разгледани са съвременни технологии за мониторинг, включително IoT базирани сензорни мрежи и автоматизирани измервателни станции и цифровия двойник като data-driven подход към мониторинга и контрола на качеството на атмосферния въздух.

Ключови думи: *фини прахови частици; замърсители; качество на въздуха; общественозначим проблем*

ВЪВЕДЕНИЕ

С технологичния напредък на човечеството множество проблеми се решават и човекът става все по-ефективен и все по-усъвършенствен. Един от най-големите пробиви за човечеството е изобретяването на двигателите с вътрешно горене (ДВГ). Изобретяването на парната машина води до Първата индустриална революция, която е изключително важен период на икономически и социален подем на човечеството и еволюцията на труда от ръчен и времеемък към поточна линия за масово производство на стоки.



Фиг. 1. Жена работи на тъкачна машина (1912)
(Encyclopædia Britannica, n.d.-a)¹

В продължение на векове масовото внедряване на ДВГ в различни отрасли на икономиката води до революция в тежката и леката промишленост, но не само в тях; един от най-тежко засегнатите и съответно развити отрасли на икономиката от развитието на ДВГ е транспортът. С развитието на транспорта и машиностроенето се бележи Втората индустриална революция, като най-отличително развитие има в автомобилостроенето, железопътното строителство и енергетиката. Създаването на железопътен превоз и масов автомобилен транспорт води до сериозно развитие на световните икономики, като Великобритания, САЩ, Германия и др., и отваря възможност за по-големи и по-достъпни търговски взаимоотношения на вътрешните и външните пазари и повишаване на качеството на живот на хората, а развитието на енергетиката води до сериозно развитие на комуналните услуги и съответно пряко повишаване на качеството на живот на развиващите се и силно развитите държави.

МЕТОДОЛОГИЯ НА ИЗСЛЕДВАНЕТО

Методологията на изследването се състои от литературен обзор, насочен към систематизиране, анализ и синтез на информация и знания от множество популярни, научнопопулярни и статистически източници, както и официални документи, с цел да се покаже и осъзнае важноста на лошото качество на въздуха и неговите последици. Подбрани са и са прегледани множество научни публикации и различни ведомствени източници на информация, свързани с предмета на изследването.

Събраните материали са подбрани по следните основни критерии: (1) те-

матична релевантност към проблематиката с качеството на въздуха и неговите последици; (2) достоверност на информацията; (3) достъпност и проследимост на пъния текст на източниците. Достоверността на информацията се състои от следните критерии: дали изданието е рецензирано, ако е научна литература; достоверност на източниците на данни и информация, като с приоритет са официални или ведомствени източници; проверимост на данните или резултатите, като част от (3).

Анализът и синтезът на информацията от източниците в извършения литературен обзор на разработката са категоризирани тематично по следния начин: социална значимост; здравни ефекти от замърсяването на въздуха; видове и източници на замърсители на качеството на въздуха; предложения за технологични решения за мониторинг на качеството на въздуха.

РЕЗУЛТАТИ

Въпреки несъмнените ползи от машините, задвижвани на различни видове гориво (например въглища, дизел, природен газ и др.), и прогресирането на модерната цивилизация несъмнено се подлагат под въпрос прякото и непрякото въздействие на употребата на гориво като основен метод за производство на енергия. Основните остатъчни продукти (емисии) от преобразуването на гориво в различни видове енергия са озон (O_3), киселинни газове, като основен принос имат серни (SO_x)², азотни оксиди (NO_x), въглеродни оксиди (CO, CO_2) сажди (Tan, 2014; Toshev, Petkov, 2003) и фини прахови частици (ФПЧ) с различни размери – от 10 микрона до 1 микрон ($PM_{10}/ФПЧ_{10} - PM_1/ФПЧ_1$) (World Health Organization, n.d.-a).

Виден пример за силно замърсяване на въздуха е Големият смог в Лондон, показан по-долу.



Фиг. 2. Полицейски офицер носи маска по време на Големият смог в Лондон (декември 1952 г.) (Encyclopædia Britannica, n.d.-b)³

Замърсяването на въздуха е основен и често пренебрегван проблем, който пряко засяга здравето и благополучието. Множество изследвания и литературни източници показват положителна корелация между наличието на замърсители на въздуха и повишен риск от хронични заболявания на различни органични системи в тялото ни, включително повишен риск от смърт. Най-съществен принос за хронични и високорискови заболявания имат фините прахови частици (ФПЧ). Според Световната здравна организация (СЗО) именно ФПЧ допринасят най-съществено за повишената смъртност от хронични и високорискови заболявания, като заболявания на сърдечносъдовата система, дихателната система и различни видове онкологични заболявания, пряко повлияни от вредата на ФПЧ (World Health Organization, n.d.-a).

Адресирането на проблема със замърсяването на въздуха е критичен за оцеляването на живите организми, включително хората. Според СЗО (World Health Organization, n.d.-a) и множество изследвания (Landrigan, 2016; Tan, 2014; World Health Organization, n.d.-a) замърсяването на въздуха е основна причина за смъртност. Според последното издание на IQAir от 2025 г. (IQAir, 2025) за качеството на въздуха в глобален мащаб само 14% от населените места в обхвата на изследването са в допустимите норми на СЗО, което представлява спад с 3% спрямо 17% за 2024 г. Държавата с най-замърсен въздух според IQAir е Пакистан, а столицата с най-замърсен въздух според IQAir е Ню Делхи, Индия; София е на 71-во място (IQAir, 2025). Скорошно изследване от 2025 г. (Khomenko et al., 2025) на територията на град София показва, че всички жители на град София живеят или са живели в условия с влошено качество на въздуха, където емисиите ФПЧ и NO_2 са превишавани многократно спрямо установените норми на СЗО, а именно силното замърсяване и влошеното качество на въздуха са причината за приблизително 16,1% от смъртността за годишна база, което представлява приблизително 244 на 100 000 души жители на града (Khomenko et al., 2025). Според същото изследване само ФПЧ_{2.5} са допринесли за приблизително 15–25% от случаите на сърдечносъдови заболявания и допринасят за приблизително 9,3% от случаите на смъртност за град София (Khomenko et al., 2025). Борбата със замърсяването на въздуха и контролирането му трябва да е основна движеща сила в различните политики за намаляване на високата заболяемост, смъртност, повишаване на качеството на живот и дълголетие.



Фиг. 3. Смог в центъра на София (Телеграф, 2024)⁵

Основни видове замърсители на въздуха

Както е споменато по-горе, основните замърсители на въздуха са най-често различни съединения, остатъчни продукти от горенето на различни видове гориво и отделени в атмосферата под формата на вредни емисии. Най-често срещаните емисии са под формата на вредни газове, парникови газове, фини прахови частици (ФПЧ), летливи органични съединения (VOC).

Най-значими вредни газове според Националния статистически институт (НСИ) (Natsionalen statisticheski institute, n.d.) и множество източници (Izpalnitelna agentsia po okolna sreda, n.d.-a; Izpalnitelna agentsia po okolna sreda, n.d.-b; Natsionalen statisticheski institute, n.d.; Landrigan, 2016; Tan, 2014; Toshev, Petkov, 2003; World Health Organization, n.d.-a) са серни оксиди (SO_x), азотни оксиди (NO_x), въглеродни оксиди (CO , CO_2).

Серните оксиди (SO_x) са киселинни оксиди, основен остатъчен продукт от изгарянето на горива с високо сярно съдържание. Представителите на тази група, които основно се измерват, са SO_2 и SO_3 . Според ИАОС представителите на тази група съединения, заедно с азотните оксиди, са основни компоненти на киселинни дъждове (Izpalnitelna agentsia po okolna sreda, n.d.-b).

Серният диоксид (SO_2) е безцветен отровен газ, лесно разтворим във вода. Основен източник на тези емисии е горенето на петролни горива с високо съдържание на сяра и въглища. Изгарянето на обогатени въглища от ТЕЦ е най-големият източник на емисии серен диоксид във въздуха (Harrison, 2014).

Азотните оксиди (NO_x), са киселинни оксиди, основен остатъчен продукт от изгарянето на петролни горива. Основни представители в атмосферата на тази група съединения са диазотният оксид и азотният диоксид. Основна причина за наличието на азотни оксиди в атмосферата е непълното изгаряне на петролните горива и други въглерод-съдържащи материали (Izpalnitelna agentsia

po okolna sreda, n.d.-a). Според ИАОС представителите на тази група съединения, заедно със серните оксиди, са основни компоненти на киселинните дъждове (Izpalnitelna agentsia po okolna sreda, n.d.-a). Също така азотните оксиди (NO_x) са основен компонент при формирането на смога, заедно с летливите органични съединения (VOC) и ФПЧ (Warneck, 1999).

Фините прахови частици (ФПЧ) представляват смес от твърди или течни частици, суспендирани във въздуха. Те биват различни размери, като най-обстойно и най-често се наблюдават и изследват ФПЧ с размери между 1 микрон и 10 микрона⁴. Едрите ФПЧ (например 10 микрона) най-често представляват полени, морски аерозоли и прах от различни дейности като земеделие, строителна дейност, минно дело. Фините ФПЧ (най-често изследвани са 2,5 микрона) са най-често продукт на изгарянето на горива, като най-голям принос в градската среда имат моторните превозни средства, отоплението на ТЕЦ и дърва и промишлеността. Саждите са виден представител на ФПЧ с размер около 2,5 микрона и се получават вследствие на непълното изгаряне на различни видове гориво, като дизел, биомаса, дърва, въглища и др. (World Health Organization, n.d.-a).

ДИСКУСИЯ

Изводите от настоящия обзор ясно очертават един от най-големите проблеми и парадокси на модерната цивилизация – от едната страна стоят технологичният и индустриален подем и стремежът за развитие на човечеството, съответното повишаване на качеството на живот, а от другата страна възниква проблемът от внезапното влошаване на качеството на живота именно от стремежа на човечеството към прогрес и действията, които модерната цивилизация извършва към постигането на целите си.

Конкретно, масовото внедряване на двигатели с вътрешно горене, тяхното усъвършенстване и достъпност водят до значителна трансформация на всички социалнозначими сфери на модерното общество – търговия, енергопроизводство, транспорт, комунални услуги, лека и тежка промишленост, селско стопанство и др. – но в същото време тази трансформация води до жизненоважна заплаха за здравето и самото бъдеще на човечеството, като цяло – на всеки жив организъм на нашата планета. Историческите примери, като Големия смог в Лондон пред 1952 г., служат като мрачна концептуална отправна точка, показваща преките катастрофални последици от тежката индустриализация и безконтролното експлоатиране на ДВГ в градска среда и преките последици за живота на гражданите. Тази ретроспекция налага необходимостта от преосмисляне на концепцията за „прогрес“ – освен измерването на основни икономически показатели, са необходими краткосрочна и дългосрочна оценка на риска и последиците за здравето, живота и околната среда и водите.

Разгледаните основни замърсители, като ФПЧ, вредни газове като серни оксиди (SO_x), азотни оксиди (NO_x), озон (O_3), въглеродни оксиди, летливи органични съединения (VOC) и др., не са просто емисии, а преки причинители

на висока заболяемост. Данните от СЗО, НСИ и цитираната литература категорично свързват тези емисии с животозастрашаващи хронични заболявания. Това превръща качеството на въздуха от незначителен и тясно специализиран казус в значим и генерален обществен проблем, изискващ незабавни мерки за минимизирането на последствията от влошеното качество на въздуха.

Въпреки фокуса върху социалния аспект на проблема с качеството на въздуха и неговото адресиране, голям фактор представлява технологичният принос към контрола и повишаването на вниманието към качеството на въздуха. Интеграцията на технологични решения прави преход от общо познание, че въздуха може да бъде замърсен, към проактивно управление на ключовите фактори, които допринасят най-значително за влошаването на въздуха. Предвид, че вредните газове, като серни оксиди и азотни оксиди, отделяни от непълното изгаряне на гориво, и ФПЧ около 2,5 микрона са невидими за човешкото око, внедряването на технологични решения като интернет на нещата (IoT), автоматични измервателни станции (АИС), различни мрежи от сензори изграждането на информационни системи, свързани с мониторинга на качеството на въздуха в градската среда, позволяват да „видим“ замърсителите на въздуха под формата на данни и съответно агрегация и интерпретация на техните резултати в различна дълбочина – от данни за локалното замърсяване на един микрорайон или участък от градската среда до големи данни (Big Data) за умния град и цели региони и съответно изграждане на различни модели, включително цифров двойник на съответния район, като се позволява навременно идентифициране, проследяване и анализиране на точки, където има съществено влошаване на качеството на въздуха или аномалии в зони, за които е от съществено значение чистотата на въздуха, или такива, където има значителни отклонения от нормите. Идеята за цифров двойник, с цел анализ на качеството на въздуха, би допринесла значително за по-ефективното контролиране и вземане на информирани решения от страна на различни частни и държавни предприятия, общини и общински служби и държавни институции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Развитието на различните социално значими отрасли, като търговия, енергопроизводство, транспорт, комунални услуги, лека и тежка промишленост, селско стопанство, води до повсеместно развитие и повишаване на качеството на живота. Въпреки ползите от индустриализацията, се появяват множество проблеми, които касаят пряко като цяло всеки жив организъм на нашата планета.

В тази разработка е разгледан един от многото, но недооценени проблеми на модерното общество – качеството на въздуха и неговото влошаване. Важен акцент на този труд са основните замърсители на въздуха, които практически са невидими за човешкото око, но допринасят изключително за влошаването на качеството на въздуха и са основен причинител на високата заболяемост от хронични заболявания в резултат на изгарянето на гориво от двигателите с

вътрешно горене за различните предназначения на обществото – значителна част от този проблем е например емисиите от транспорт на течно (например бензин, дизел, керосин) и твърдо гориво (най-често въглища), производство на електроенергия и топлоенергия от ТЕЦ (например въглища, битуминозни шисти, кокс, отпадъци).

Решаването на проблема с качеството на въздуха в градската среда е от голямо значение за благоденствието на модерното общество. Освен адресирането на проблема е необходимо да се вземат адекватни мерки за противодействие и подобряване на качеството на въздуха. Едни от начините за противодействие са интеграцията на технологични решения за мониторинг на качеството на въздуха в градска среда и преходът от пасивно към проактивно управление и контрол на качеството на въздуха, както и фокус върху симбиозата между човешките потребности и технологичните решения. Интегрирането на различни технологични решения, като интернет на нещата (IoT), автоматични измервателни станции (АИС), различни мрежи от сензори, изграждането на информационни системи, свързани с мониторинга на качеството на въздуха в градската среда, са необходими за адекватната оценка и анализ на състоянието на въздуха, който всички живи създания дишат. Изграждането на различни модели за оценка на качеството на въздуха и дори на цифров двойник на градската среда би позволило навременно проследяване, идентифициране и анализиране на рисковите фактори и аномалии в множество критични точки.

Бъдещи изследвания по темата биха могли да се насочат към по-задълбочен анализ на конкретни технологични решения, перспективите за разработка и внедряване на IoT решения с цел контрол и мониторинг на качеството на въздуха, тяхната практическа приложимост и интеграция, разработването на модели и цифров двойник на различни среди за анализ и оценка на текущия контрол; информирано вземане на решения за повишаване на качеството на въздуха и усилия за по-строг граждански и институционален контрол и дългосрочни политики за устойчиво развитие.

БЕЛЕЖКИ

1. Encyclopædia Britannica. (n.d.-a). *Industrial Revolution: factory workers*. <https://www.britannica.com/event/Industrial-Revolution#/media/1/287086/216431>
2. В този случай се визира и ще се обсъжда по-нататък основно серният диоксид (SO_2) като най-често изследван замърсител в мнозинството от разгледаната литература.
3. Encyclopædia Britannica. (n.d.-b). *Great Smog of London*. <https://www.britannica.com/event/Great-Smog-of-London#/media/1/2090595/15830>
4. Микронът представлява 1 микрометър (μm). $1 \text{ микрон} = 1 \mu\text{m} = 1 \times 10^{-6} \text{ m}$
5. Телеграф. (2024). *СМОГ ОБВИ СТОЛИЦАТА: Два пъти над нормата е нивото на фини прахови частици в София*. <https://telegraph.bg/bulgaria/novini/smog-obvi-stolicata-dva-pyti-nad-normata-e-nivoto-na-fini-prahovi-chastici-v-sofia.-opasno-mrysen-e-vyzduhyt-v-11-grada-ot-stranata-snimki-400252>

REFERENCES

- Landrigan, P. J. (2016). Air pollution and health. *The Lancet Public Health*, 2(1), e4–e5. [https://doi.org/10.1016/s2468-2667\(16\)30023-8](https://doi.org/10.1016/s2468-2667(16)30023-8)
- Harrison, R. M. (2013). *Pollution: causes, effects and control*. <https://doi.org/10.1039/9781782626527>
- Tan, Z. (2014). Air pollution and greenhouse gases : From basic concepts to engineering applications for air emission control. In *Zenodo (CERN European Organization for Nuclear Research)*. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4456989>
- Warneck, P. (1999). *Chemistry of the natural atmosphere*. Elsevier.
- World Health Organization. (n.d.-a). *Ambient (outdoor) air pollution*. Retrieved April 11, 2026, from [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- World Health Organization. (n.d.-b). *Types of pollutants*. <https://www.who.int/teams/environment-climate-change-and-health/air-quality-and-health/health-impacts/types-of-pollutants>
- Izpalnitelna agentsia po okolna sreda. (n.d.-a). *Azoten dioksid*. Retrieved April 11, 2026, from <https://eea.government.bg/bg/output/daily/pollutants/n2o.html> [Изпълнителна агенция по околна среда. (n.d.-a). *Азотен диоксид*. Retrieved April 11, 2026, from <https://eea.government.bg/bg/output/daily/pollutants/n2o.html>]
- Izpalnitelna agentsia po okolna sreda. (n.d.-b). *Seren dioksid*. Retrieved April 11, 2026, from <https://eea.government.bg/bg/output/daily/pollutants/s2o.html> [Изпълнителна агенция по околна среда. (n.d.-b). *Серен диоксид*. Retrieved April 11, 2026, from <https://eea.government.bg/bg/output/daily/pollutants/s2o.html>]
- Natsionalen statisticheski institut. (n.d.). *Emisii na vredni veshtestva vav vazduha*. <https://www.nsi.bg/statistical-data/73/268> [Национален статистически институт. (n.d.). *Емисии на вредни вещества във въздуха*. <https://www.nsi.bg/statistical-data/73/268>]
- Toshev, A., Petkov, Y. (2003). *Zamarsyavane na vazduha ot transporta*. [Air pollution from transport] *Mehanika Transport Komunikatsii – Nauchno spisanie*, 16 [Тошев, А., & Петков, Й. (2003). *Замърсяване на въздуха от транспорта*. *Механика Транспорт Комуникации – Научно списание*, 16. <https://mtc-aj.com/article.16.htm>]
- Khomenko, S., Burov, A., Dzhambov, A. M., De Hoogh, K., Helbich, M., Mijling, B., Hlebarov, I., Popov, I., Dimitrova, D., Dimitrova, R., Markevych, I., Germanova, N., Brezov, D., Iungman, T., Montana, F., Chen, X., Gehring, U., Khreis, H., Mueller, N., . . . Nieuwenhuijsen, M. (2025). Health burden and inequities of urban environmental stressors in Sofia, Bulgaria. *Environmental Research*, 279(Pt 1), 121782. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2025.121782>
- IQAir. (2025). *IQAir World Air Quality Report 2025*. Retrieved May 23, 2026, from https://cdn.shopify.com/s/files/1/0065/4780/0182/files/2025_IQAir_World_Air_Quality_Report_3.26.2026.pdf?v=1774541325

AMBIENT AIR QUALITY – A MAIN PROBLEM OF THE MODERN SOCIETY

Abstract: Air pollution is among the leading environmental challenges in modern cities, with proven negative consequences for human health and environment. The aim of this publication is to address the importance of air quality problem and its consequences, to systematize the main air pollutants, their sources and impacts, as well as to present existing approaches to monitoring and control of the air quality.

The research is conducted through literature review of scientific publications, official and regulatory documents, and documents and data from official institutions in the field of air quality.

The analysis shows that the primary pollutants in an urban environment include particulate matter ($PM_{2.5}$ and PM_{10}), sulfur oxides, nitrogen oxides, carbon monoxide, and volatile organic compounds (VOCs), originating mainly from transport, energy production and domestic heating. Modern monitoring technologies are reviewed, such as IOT-based sensor networks, automated measurement stations and digital twin as a data-driven approach to air quality monitoring and control.

Keywords: air pollutants; ambient air quality; particulate matter; socially significant problem

Alex Radev, Student

Scientific Advisor: Prof. Magdalena Garvanova, PhD
University of Library Studies and Information Technologies
Sofia, Bulgaria
E-mail: 301sr@unibit.bg