

SPATIAL AND TEMPORAL DISTRIBUTION OF FINE PARTICULATE MATTER AND ITS CORRELATION WITH METEOROLOGICAL PARAMETERS IN THE ATMOSPHERE IN THE AREA OF A THERMAL POWER PLANT

Maya Vatzkitcheva, Plamen Savov, Nikolay Kolev, Kalinka Velichkova, Dimitar Dimitrov

*University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”, 1700 Sofia
Corresponding author: mayavack@gmail.com*

ABSTRACT. Under certain critical meteorological conditions, emissions of harmful substances from production gas and dust flows, released into the atmospheric air in an organised manner, can lead to higher concentrations in the ground atmospheric layer and are a major factor determining air quality. One of the main and powerful sources of atmospheric air pollution is the burning of solid fuels in an industrial installation - a coal-fired thermal power plant. The paper presents the results of the spatial and temporal distribution of fine particulate matter (PM) in the atmosphere in the area of a coal-fired thermal power station. In parallel, the main meteorological parameters were measured: temperature, relative humidity, wind direction and speed. Based on the correlation dependences between the concentration of particulate matter in the atmosphere and the meteorological parameters, analyses were made for the degree of dependence between these parameters and the type and intensity of the dispersion of pollutants. The aim is to obtain information on how different meteorological situations affect the aerosol concentration levels around the source and which of the situations pose the most serious risk of reaching health hazardous concentrations.

Key words: particulate matter, atmospheric boundary layer, aerosol dispersion, industrial installations, meteorological parameters.

ВРЕМЕВО РАЗПРЕДЕЛЕНИЕ НА ФИНИ ПРАХОВИ ЧАСТИЦИ И КОРЕЛАЦИЯТА ИМ С МЕТЕОРОЛОГИЧНИТЕ ПАРАМЕТРИ В АТМОСФЕРАТА В РАЙОНА ОКОЛО ТЕЦ

*Майя Вацкичева, Пламен Савов, Николай Колев, Калинка Величкова, Димитър Димитров
Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София*

РЕЗЮМЕ. Емисиите на вредни вещества от производствени газово-прахови потоци, изпускани организирано в атмосферния въздух, при определени критични метеорологични условия може да доведе до по-високи концентрации в приземния атмосферен слой и са основен фактор, определящ качеството на въздуха. Един от основните и мощни източници на замърсяване на атмосферния въздух е изгарянето на твърди горива в промишлена инсталация - въглищна ТЕЦ. В работата са представени резултати от пространственото и времево разпределение на фини прахови частици (ФПЧ) в атмосферата в района на ТЕЦ на въглища. Паралелно са измервани и основните метеорологични параметри – температура, относителна влажност, посока и скорост на вятъра. На базата на направените корелационни зависимости между концентрацията на фините прахови частици в атмосферата и метеорологичните параметри, са направени анализи за степента на зависимост между тези параметри и вида и интензитета на дисперсията на замърсителите. Целта е да се получи информация за това как различните метеорологични ситуации влияят върху нивата на концентрация на аерозола около източника и кои от ситуациите създават най-сериозен риск от достигане на опасни за здравето концентрации.

Ключови думи: фини прахови частици, атмосферен граничен слой, дисперсия на аерозол, промишлени инсталации, метеорологични параметри.

Въведение

Електрическата енергия играе ключова роля в промишлеността и селското стопанство за растежа и развитието на всяка държава, подобрява икономическото развитие и качеството на живот. Въглищата обикновено се използват като гориво за производство на електроенергия. По отношение както на цената, така и на енергийната сигурност по света, особено в азиатските страни, това е много ефективно и икономично. Изгарянето им, обаче, освобождава сериозни замърсители на въздуха като: серен диоксид (SO_2), азотен оксид (NO_x), въглероден оксид (CO), прахови частици (PM), въглероден диоксид (CO_2), озон (O_3), живак (Hg), олово (Pb) и т.н., които предизвикват неблагоприятно въздействие върху околната среда и човешко здраве. Те са киселинни по природа вещества и газове и така екосистемата постепенно се унищожава, поради увеличаване на концентрацията им. Газообразните емисии като NO_x , SO_2 се превръщат в частици в присъствието на влажност във въздуха. Тези частици са основните замърсители на въздуха. Проучвания от Център за наука и околна среда, Индия, 2015 г., показва че топлоелектрическите централи на въглища (ТЕЦ) са отговорни за 60% PM емисии, 50% SO_2 , NO_x емисии и

повече от 80% от емисиите на живак сред всички индустрии (K. Guttikunda et al., 2014; Tuhin Bera et al., 2021). Правителство на Индия в икономическото проучване през 2016–2017 г. показва че броят на смъртните случаи, свързани със замърсяването от въглищни електроцентрали, е около 115000 годишно, а отрицателно въздействие върху дихателната система, сърдечно-съдови заболявания, неврологични ефекти и др. е много сериозен здравен проблем за населението. Следователно е наложително да се минимизират и контролират емисиите на замърсители от въглищни ТЕЦ чрез някои подходящи екологични управления (Li, D. et al., 2012; Lad, R. K. et al. 2008; ; Zeng, M et al. 2017; Tang, L. et al. 2019; Xue, W et al. 2016).

ТЕЦ "Марица Изток 2" ЕАД е най-голямата реновирана топлоелектрическа централа в България. Предметът на дейност е производство на електрическа енергия. Тя е една от четирите електроцентрали в комплекс „Марица Изток“, който е разположен в югоизточната част на страната. Работи с местни лигнитни въглища, добивани в рудниците на „Мини Марица-изток“ ЕАД. ТЕЦ "Марица Изток 2" ЕАД има осем енергийни блока с изградени сероочистващи инсталации (СОИ) с ефективност над 94%. Инсталираната обща мощност достига 1620 MW.

С цел осигуряване спазването на нормите за всички основни показатели за качество на атмосферния въздух сероочистващите инсталации работят по т.нар. „мокър варовиков метод“, като основен реагент за процеса се използва варовик. Степента на почистване на SO₂ от димните газове е минимум 94 %. (М. Дончева-Бонева, 2009; М. Николова и др., 2010). Крайният продукт гипс се депонира заедно със сгуропепелината от котлите в сгуроотвала на централата.

В тази работа са представени и анализирани експериментални резултати, получени при измерване на концентрацията на фини прахови частици в района на ТЕЦ „Марица Изток 2“. Направен е анализ за влиянието на основните метеорологични параметри (температура, влажност, посока и скорост на вятъра) върху вида на дисперсия на аерозола в района около централата. Определени са и са анализирани корелационните зависимости между метеорологичните параметри и концентрацията на фините прахови частици.

Експеримент

Измерванията са проведени на 21.10.2023 г. в околностите на ТЕЦ „Марица Изток 2“. Източниците на замърсяване в района биха могли да са два – комините на предприятието и междуселският път. Пътят обслужва предимно ТЕЦ-а и е ненатоварен. Трафикът възлиза на не повече от 20-30 коли/камиони на час. По тази причина, както и предвид преобладаващата посока на вятъра, предположихме, че като основен замърсител ще се яви близкият комин на ТЕЦ-а (фиг. 1). Той представлява точков източник на фини прахови частици (ФПЧ).



Фиг. 1. ТЕЦ „Марица Изток 2“ – факелът на десния комин е насочен към точките на измерване

Спрямо факела на комина точките на определяне на концентрациите на ФПЧ са разположени напречно - точки от 1, 2, 3 и 4 на фиг. 2, и надлъжно - точки 5, 2, 8, и 9. От 9:30 до 10:30 часа са проведени измерванията по напречната ос, от 17:20 до 18:00 часа – отново по напречната, а от 18:20 до 19 ч. по надлъжната ос. Средното отстояние от източника сутринта е 1,8 км. Следобед най-близко разположената т.5 е на 1,5 км, а най-отдалечената т.9 е на 2,5 км, както може да се види и от мащаба на картата на фиг. 2.

Числената и масовата концентрации на ФПЧ са измерени с преносим лазерен брояч на частици BQ20 – Trotec. Той е компактен измервател на качеството на въздуха - измерва прахово замърсяване, температура и относителна влажност на въздуха. Праховите му

измерванията се осъществяват в два канала: канал 1 (0 – 2,5 µm) и канал 2 (2,5 - 10 µm), в текста за краткост са означени като PM_{2,5} и PM₁₀. Диапазонът на измерване за PM 2.5: 0 ~ 2000 g/m³, а на PM 10: 0 ~ 2000 g/m³, диапазонът за температура е 0 ~ 50°C и за относителната влажност: 0 –



Фиг. 2. Карта на района с измервателните точки

100 % RH. Метеорологичните условия са регистрирани чрез многофункционална метеорологична станция. Чрез анемометър се определя скоростта на вятъра, а външната температура и относителна влажност на въздуха - чрез термохигрометър. Има възможност за измерване на количество на валежи (валежометр) и на посока на вятъра. За целите на експеримента температурата е измерена в градуси по Целзий, относителна влажност в %RH, атмосферно налягане в hPa, посока на вятъра и скорост съответно в deg и m/s.

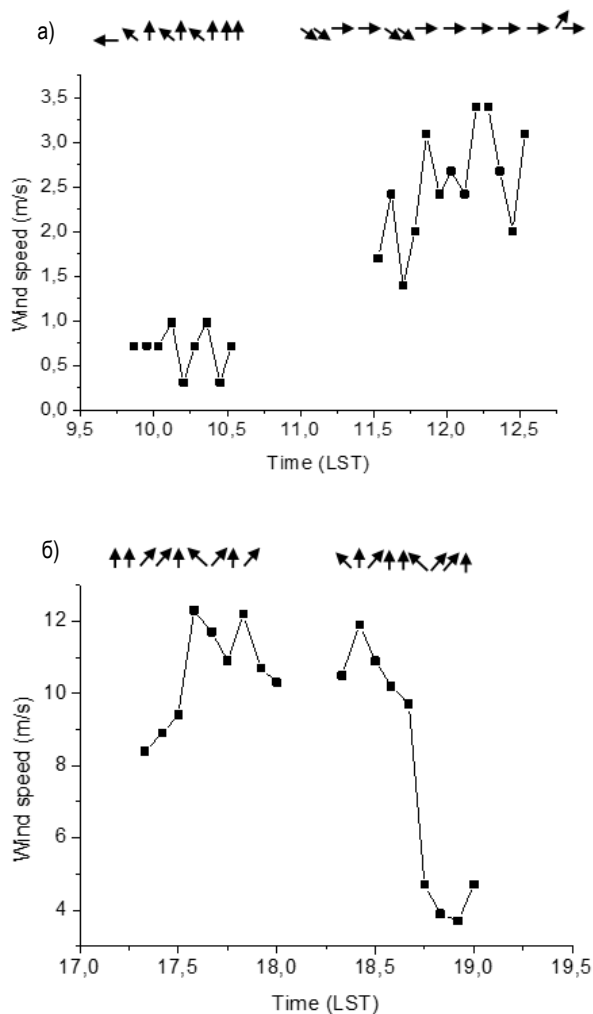
Резултати и дискусия

Метеорологична обстановка. На фиг. 3 а) са представени данни за посоката и скоростта на вятъра на 21.10.2023 г. В сутрешните часове в интервала от 10:00 до 10:30 часа посоката на вятъра е юг-югоизток, като след 11:30 часа тя става основно западна. Скоростта е сравнително ниска, като около обяд достига 2 – 3 m/s.

В следобедните часове в интервала 17:00 – 19:00 часа посоката на вятъра е преобладаващо южна. За разлика от сутрешните часове, през следобедните часове скоростта на

вятъра е значителна, като около 18:00 часа се достигат стойности от около 12 m/s. След залеза на слънцето скоростта рязко спада под 4 m/s (фиг. 3 б)).

На следващата фиг. 4 е представена еволюцията на температурата през деня на експеримента. В сутрешните часове тя е в диапазона 24 – 27° С, а след обяд спада от 24°С около 18:00 часа до 19°С в 19:00 часа.

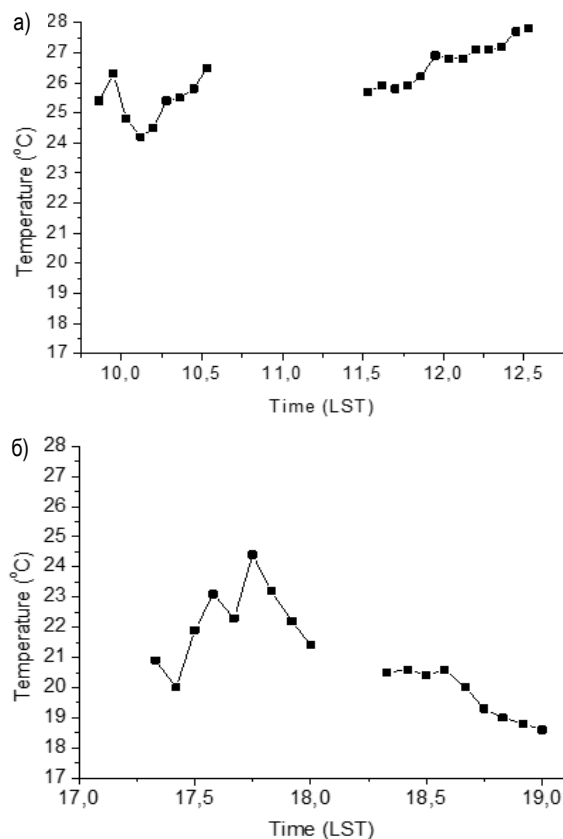


Фиг. 3. Скорост и посока на вятъра в сутрешните часове (а) и следобед (б)

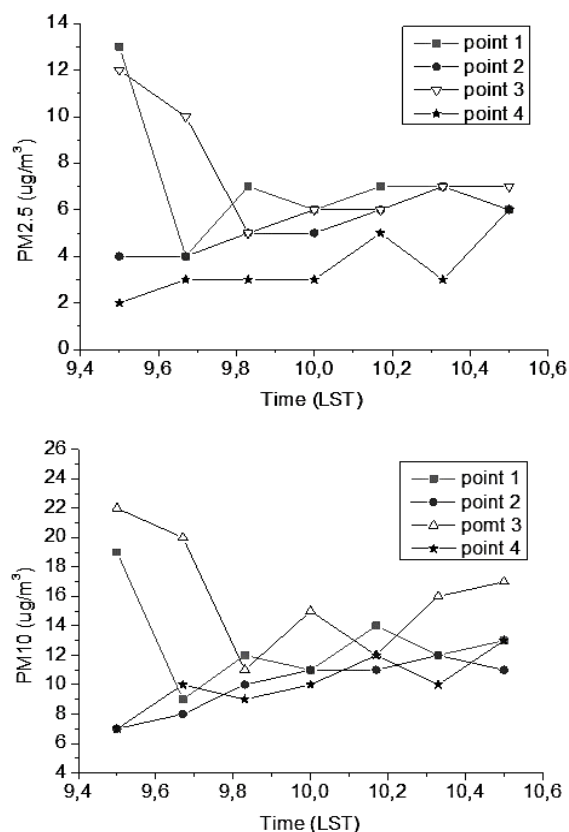
Дневна вариация на числената и масова концентрация на PM_{2,5} и PM₁₀. Многобройните изследвания на еволюцията на аерозолната концентрация в атмосферата показват наличие на определена специфична периодичност – дневна, нощна, сезонна и годишна (Yan S., 2016; Yang G., 2017). В тази работа се разглежда и дискутира дневната еволюция на аерозолната концентрация.

По време на експерименталната кампания бяха измерени вариациите в числената и масовата концентрации на фините прахови частици с диаметри 2,5 и 10 микрона (PM_{2,5} и PM₁₀) в осем пространствени точки разположени около централата (фиг. 2).

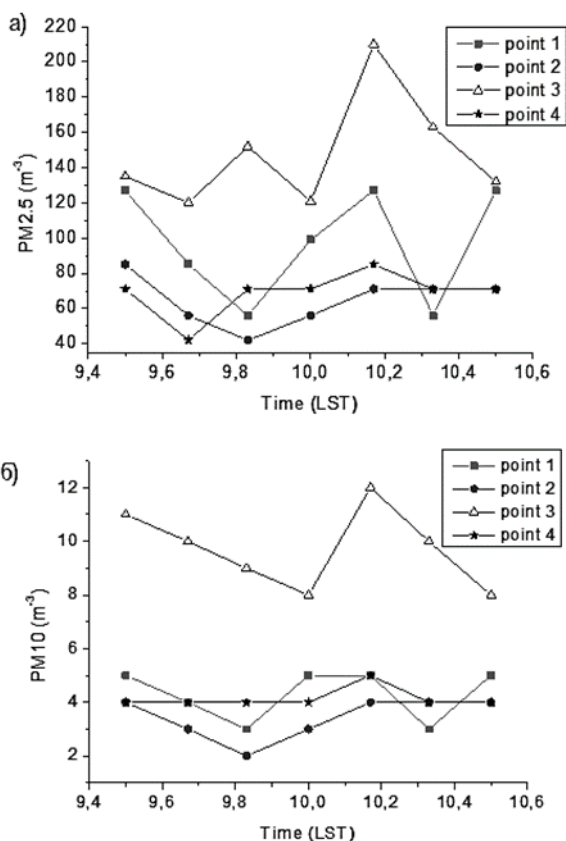
На фиг. 5 е представена еволюцията на масовата концентрация на PM_{2,5} и PM₁₀ за точки от 1 до 4. И за двете фракции се забелязва слаб тренд на нарастване след 10 часа. При числената концентрация такъв тренд не се наблюдава (фиг. 6).



Фиг. 4. Температура в сутрешните часове (а) и следобед (б)



Фиг. 5. Масова концентрация на PM_{2,5} (а) и PM₁₀ (б) за точки от 1 до 4 преди обяд



Фиг. 6. Числена концентрация на PM 2,5 (а) и PM10 (б) за точки от 1 до 4 преди обед

В следобедните часове се наблюдава един минимум на масовата концентрация и за двете фракции около 17:45 часа, като най-висока концентрация е в точка 1 (фиг. 7).

На фиг. 8 са представени данни за промяната на масовата концентрация на фините прахови частици в интервала от около 18:15 до 19:00 часа за т.5, 2, 8, и 9. Наблюдава се един максимум около 18:40 часа, като най-високи стойности са измерени в точките 2 и 8.

Анализ на експерименталните данни

В часовете преди обяд се наблюдават сравнително високи стойности на температурата (около 26° C) и ниски стойности на вятъра. Това предполага наличието на сравнително интензивна термична турбулентност, която причинява и наблюдавания тренд на нарастване на концентрацията на фините прахови частици в атмосферата около централата.

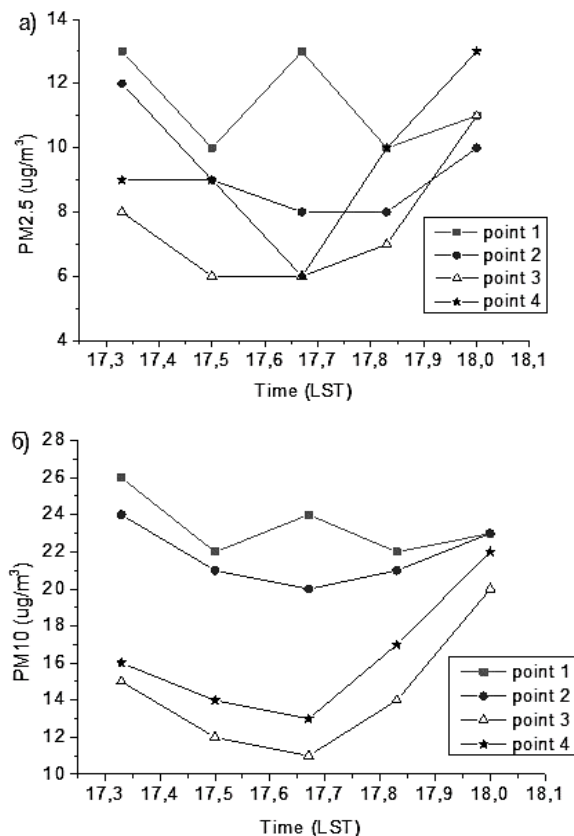
Наблюдаваното увеличение на масовата концентрация на фините прахови частици, преди обяд, при сравнително постоянен брой, свидетелства за емитиране в атмосферата на частици с по-голяма плътност и за двете компоненти.

В следобедните часове се наблюдава спадане на температурата с около 3 – 4 градуса. Скоростта на вятъра обаче достига 10 – 12 m/s. Това предполага преобладаване на динамичната компонента на турбулентността.

При сравнението на сутрешните измервания на масовата концентрация на PM средно за четирите експериментални точки (1 – 4) се вижда, че стойностите след обяд са около два пъти по-високи (средно около 10

$\mu\text{g}/\text{m}^3$) от сутрешните (средно около 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Причина за това е високата скорост на вятъра в следобедните часове, причиняваща ветрова ерозия от почвата и едновременно с това - интензивно размесване на частиците в атмосферата.

В следобедните часове посоката на вятъра е южна и аерозолния факул от комините на централата се носи по посока на точките 1 и 2 от трасето на измерване. Това обяснява наблюдаваните високи концентрации на частиците в тези две точки (фиг. 7).



Фиг. 7. Масова концентрация на PM 2,5 (а) и PM10 (б) за точки от 1 до 4 следобед

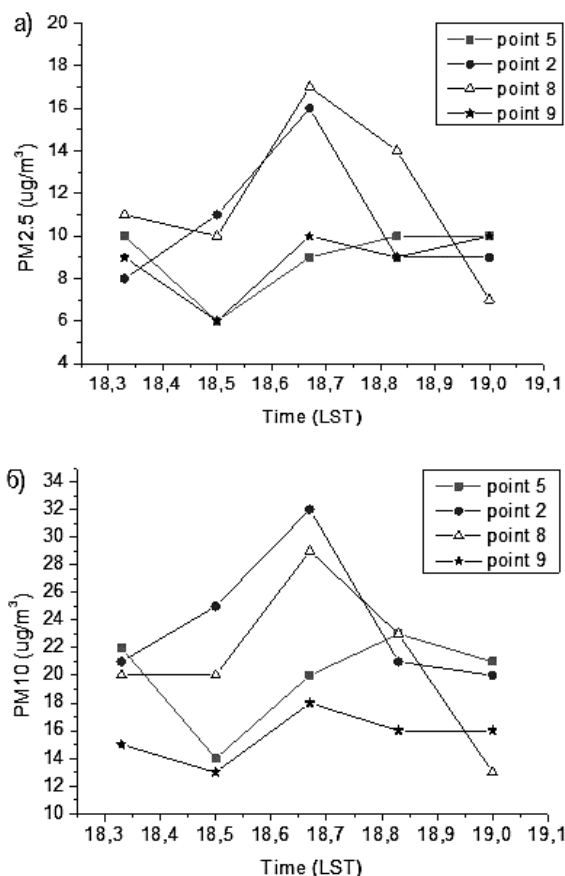
За трасето 5 – 9, точките са разположени по посока на разпространение на димния факул. Поради добре развитата турбулентност и височината на източниците, най-високи стойности се наблюдават в точките 2 и 8, а не в по-близката до източника точка 5 (фиг. 8).

Корелация между метеорологичните параметри и концентрацията на частиците. За да се установи степента на зависимост между метеорологичната обстановка и аерозолната концентрация, обикновено се използва метода на корелационния анализ (Naoran J., 2020).

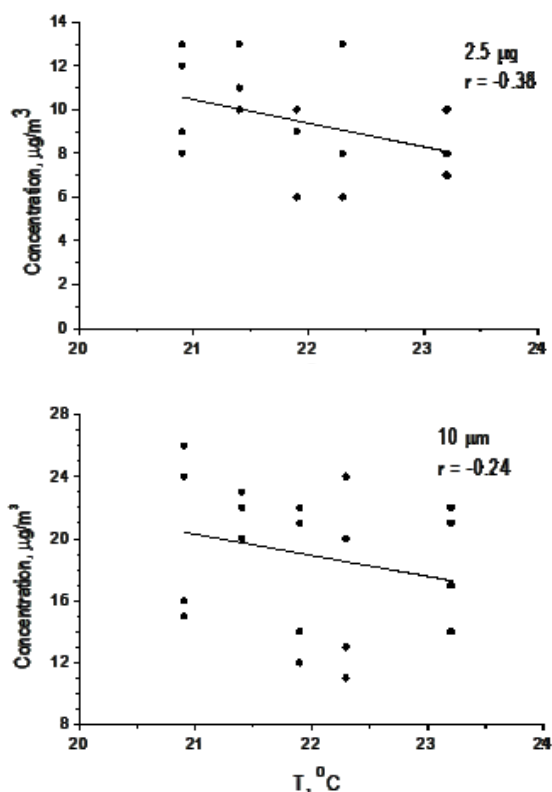
При пресмятането на коефициентите на корелация между температурата и вятъра и масовата концентрация на частиците са използвани експерименталните данни снети в направление 1-2-3-4 в следобедните часове на деня.

На следващите две фиг. 9 са представени резултатите от пресмятането на коефициента на корелация между масовата концентрация на фините прахови частици с диаметри 2,5 и 10 μm и стойностите на температурата за

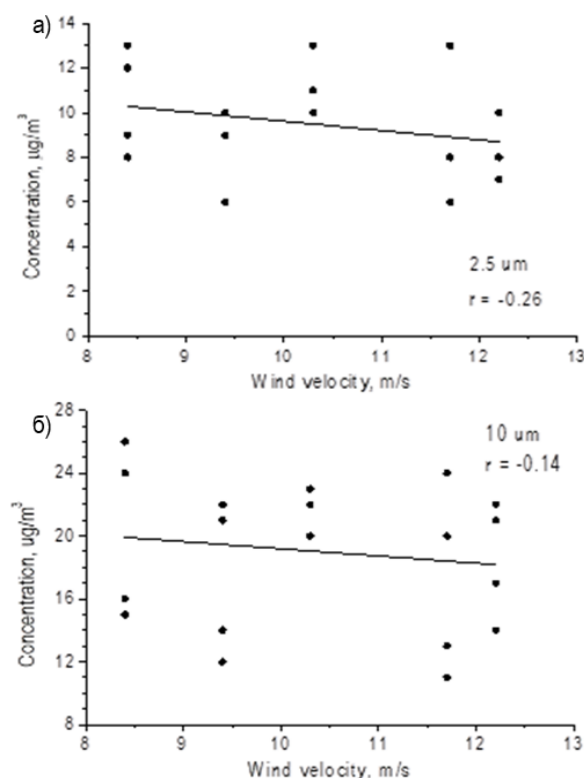
дадения период. От представените графики се вижда, че корелацията е средна по големина и с отрицателен знак.



Фиг. 8. Масова концентрация на PM 2,5 (а) и PM10 (б) за точки от 5, 2, 8 и 9 следобед



Фиг. 9. Корелационни зависимости концентрация-температура за PM 2,5 (а) и PM10 (б)



Фиг. 10. Корелационни зависимости концентрация-скорост на вятъра за PM 2,5 (а) и PM10 (б)

Отрицателния знак показва, че зависимостта масова концентрация – температура е обратнопропорционална, т.е. при нарастване на температурата, концентрацията намалява. Това се обяснява с факта, че при нарастване на температурата обикновено височината на слоя на смесване нараства и по този начин обемът, в който се разпространяват частиците, става по-голям и следователно това води до спадане на концентрацията с времето.

Корелацията между масовата концентрация и скоростта на вятъра е показана на фиг. 10. Вятърът е другият важен метеорологичен параметър, който генерира турбулентност в планетарния граничен слой. Тази турбулентност за разлика от термичната е с динамичен характер. Логично е и тук да се очакват отрицателни стойности за коефициентите на корелация, понеже с увеличаване на скоростта на вятъра нараства и разсейването на аерозола в атмосферата и следователно пада и неговата концентрация.

Интересно е да се отбележи, че корелационните зависимости на концентрациите и при температурата и при вятъра са по-силно изразени при малките частици $2,5 \mu\text{m}$ (фиг. 9 а, 10 а). Този ефект може да се обясни с по-малката маса и съответно по-малката инертност на частиците $2,5 \mu\text{m}$.

Заключение

При анализа на резултатите от експерименталната кампания, свързана с изследване на процесите на дисперсия на фините прахови частици около точков източник (в случая ТЕЦ) може да се направят следните обобщаващи заключения:

- При тази мощност на централата (за есенния период от годината) стойностите и на масовата, и на количествената концентрация не надхвърлят пределно допустимите норми на замърсяване.

- Както е логично да се очаква, метеорологичната ситуация влияе съществено върху дисперсията на аерозола в атмосферата. С нарастване на температурата през деня се засилва термичната турбулентност, която заедно с динамичната – причинена от вятъра, водят до намаляване на концентрацията на фините прахови частици.

- Пресметнатите отрицателни стойности на корелационните коефициенти, за връзката между температурата, вятъра и концентрацията подкрепят горните изводи. Това означава, че с повишаване на температурата и/или скоростта на вятъра концентрацията и за двата вида частици намалява с времето.

При сравнението между големините на корелационните коефициенти за частиците с аеродинамичен диаметър 2,5 и 10 μm показва, че в случая за степента на дисперсия на частиците в атмосферата по-силно влияние има по-скоро масата на съответната частица, отколкото аеродинамичният ѝ диаметър.

Благодарности (Acknowledgements) Настоящото изследване е проведено във връзка с изпълнението на:

Национална научна програма (ННП) „Опазване на околната среда и намаляване на риска от неблагоприятни явления и природни бедствия“, одобрена с Решение на МС № 577/17.08.2018 г. и финансирана от МОН (Споразумение № Д01-27/06.02.2024).

Дог. ГПФ № 250, НИС-МГУ, Срок: III – XII.2024 г. „Пространствено и времево разпределение на фини прахови частици и корелацията им с метеорологичните параметри в атмосферата в района около ТЕЦ“. Ръководител: доц. д-р Н. Колев - катедра „Приложна геофизика“, научен колектив.; доц. д-р Пламен Савов, доц. д-р Майя Вацкичева, гл. ас. д-р Калинка Величкова, гл. ас. д-р Димитър Димитров - катедра „Приложна геофизика“.

Литература

Дончева-Бонева, М. (2009). Оценка качеството на атмосферния въздух в района на „Марица Изток“ *Forestry ideas*, 2/2009 (38)

Николова, М. (2010) Влияние на енергийния комплекс „Марица-изток“ върху производството на екологична земеделска продукция. *Сп. Диалог*, ИНИ, 11-5 133

Guttikunda, K., Puja Jawahar (2014) Atmospheric emissions and pollution from the coal-fired thermal power plants in India, *Atmospheric Environment*, Vol 92, pages 449-460, <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.04.057>

Haoran, J., Correlation between PM concentrations and meteorological conditions in Chengdu based on in-situ observations, *IOP Conference Series Materials Science and Engineering*, 2020, 780(3):032038. doi: 10.1088/1757-899X/780/3/032038

Li, D., Guo, Y., Li, Y., Ding, P., Wang, Q., Cao, Z.. (2012). Air pollutant emissions from coal-fired power plants. *Open J. Air Pollut.* 1, 37–41. <http://dx.doi.org/10.4236/ojap.2012.12005>

Lad, R.K., Christian, R.A., Deshpande, A.W.,.. A fuzzy MCDM framework for the environmental pollution potential of industries focusing on air pollution. *WIT Trans. Ecol. Environ.* Vol. 116, Aug 2008, <http://dx.doi.org/10.2495/AIR080621>

Tang, L.; Qu, J.B.; Mi, Z.F.; Bo, X.; Chang, X.Y.; Anadon, L.D.; Wang, S.Y.; Xue, X.D.; Li, S.B.; Wang, X.; et al. (2019). Substantial emission reductions from Chinese power plants after the introduction of ultra-low emissions standards. *Nat. Energy*, 4, 929–938

Tuhin Bera, Nirmal Kumar Mahapatra (2021). Ranking of thermal power plants focusing on air pollution: A Neutrosophic assessment, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 316, 128250, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128250>

Xue, W.; Xu, Y.; Wang, J.; Tang, X. (2016). Ambient air quality impact of emissions from thermal power industry. *China Environ. Sci.*, 36, 1281–1288

Yan S, Cao H, Chen Y, Wu C, Hong T, Fan H., Spatial and temporal characteristics of air quality and air pollutants in 2013 in Beijing. 2016 *Environ Sci Pollut Res Int.* Jul;23(14):13996-4007. doi: 10.1007/s11356-016-6518-3

Yang Qianqian, Qiangqiang Yuan, Tongwen Li, Huanfeng Shen, and Liangpei Zhang (2017) The Relationships between PM_{2.5} and Meteorological Factors in China: Seasonal and Regional Variations *Int J Environ Res Public Health*, Dec; 14(12): 1510. doi: 10.3390/ijerph14121510

Zeng, M.; Zhang, P.; Yu, S.K.; Liu, H. (2017). Overall review of the overcapacity situation of China's thermal power industry: Status quo, policy analysis and suggestions. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 76, 768–774.