



МОНІТОРИНГ ЗАБРУДНЕННЯ ПОВІТРЯ: СУЧАСНА РОЛЬ У ЗАБЕЗПЕЧЕННІ ЕНЕРГО-ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ТА СТАЛОГО РОЗВИТКУ

«Можливості і перспективи використання автоматизованих систем моніторингу довкілля EcoCity у навчальній і науковій діяльності»

Доповідач: **Запорожець А.О.** – заступник директора з науково-організаційної роботи Інституту загальної енергетики НАН України, доктор технічних наук, старший дослідник

Київ, 2023

Цілі сталого розвитку ООН



Цілі щодо енергетичної та екологічної безпеки згідно Проекту плану відновлення України (липень 2022)

№	Енергетична безпека	Екологічна безпека
1	Євроінтеграція і забезпечення ефективної роботи енергетичних ринків	Кліматична політика: запобігання та адаптація до зміни клімату
2	Диверсифікація джерел постачання енергоресурсів, створення резервів, кібербезпека	Ефективне управління відходами
3	Декарбонізація, оптимізація енергоміксу і розвиток низьковуглецевої генерації	Збалансоване використання природних ресурсів в умовах підвищеного попиту і обмежених пропозицій
4	Модернізація і розвиток інфраструктури для транспортування, передачі, розподілу і зберігання енергії	Збереження природних екосистем і біологічного різноманіття, відновлення та розвиток природоохоронних територій та об'єктів
5	Підвищення енергоефективності і управління попитом	Ефективне державне управління у сфері охорони довкілля та природокористування

Підвищення рівня інформативності про забруднення навколишнього повітря дозволить попередити позаштатні ситуації на підприємствах, знизити рівень екологічного навантаження урбанізованих територій, виявити джерела надлишкового забруднення повітря, та в цілому покращити рівень життя населення.

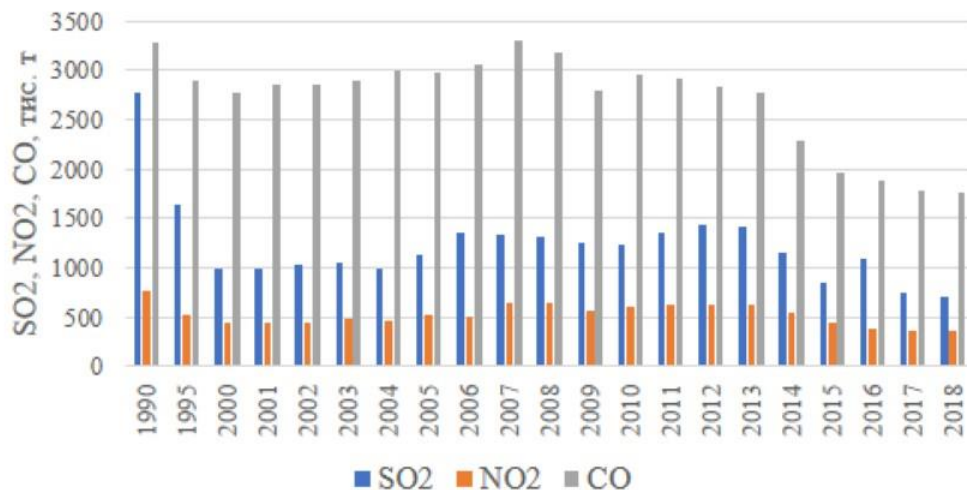


Обсяги викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря в період 1990-2018 рр.

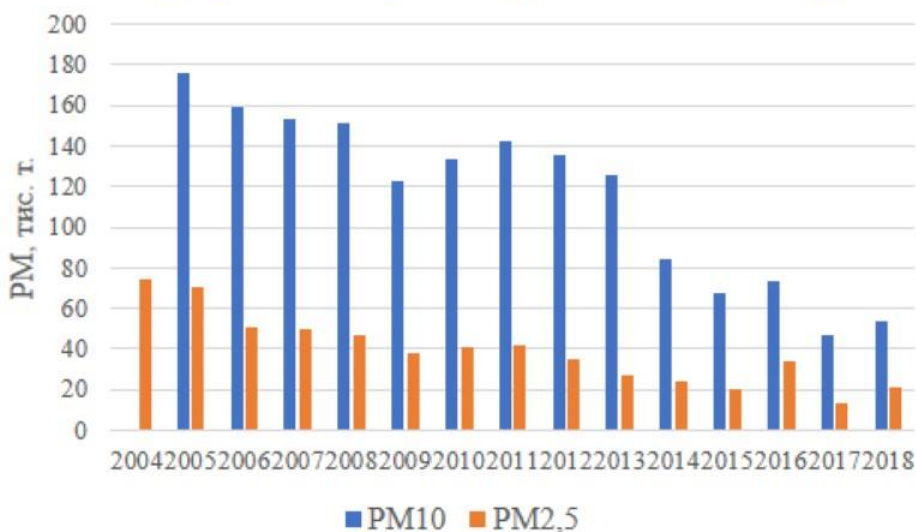


Обсяги викидів діоксиду вуглецю в атмосферне повітря в період 2004-2018 рр.

Отримані дані свідчать, що рівень забруднення повітря від стаціонарних джерел в Україні залишається значним, незважаючи на спад промислового виробництва.



Обсяги викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря в період 1990-2018 рр.

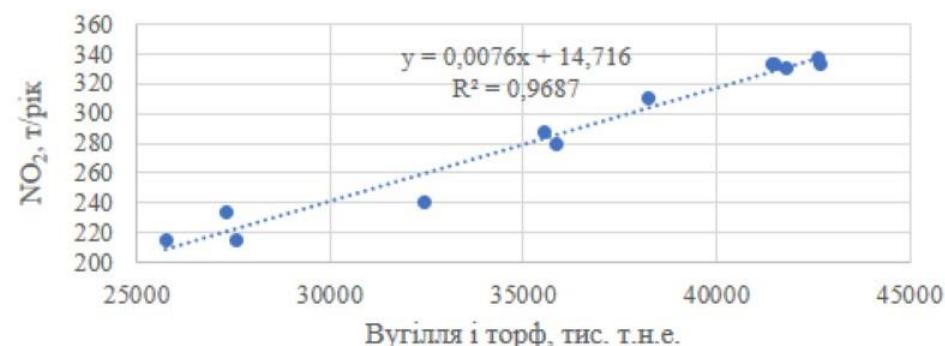


Викиди твердих частинок PM₁₀ та PM_{2.5} протягом 2004-2018рр.

КОРЕЛЯЦІЙНИЙ АНАЛІЗ МІЖ СКЛАДОВИМИ ЕНЕРГЕТИЧНОГО БАЛАНСУ ТА ЗАБРУДНЮЮЧИМИ РЕЧОВИНАМИ

Складові енергетичного балансу (X) та забруднюючі речовини (Y), що досліджуються на щільність стохастичного взаємозв'язку

Y	CO_2	SO_2	NO_2	CO	PM_{10}	$PM_{2.5}$
X						
Типи енергетичних ресурсів:						
вугілля і торф	$A_{1,1}$	$A_{1,2}$	$A_{1,3}$	$A_{1,4}$	$A_{1,5}$	$A_{1,6}$
сира нафта	$A_{2,1}$	$A_{2,2}$	$A_{2,3}$	$A_{2,4}$	$A_{2,5}$	$A_{2,6}$
природний газ	$A_{3,1}$	$A_{3,2}$	$A_{3,3}$	$A_{3,4}$	$A_{3,5}$	$A_{3,6}$
атомна енергія	$A_{4,1}$	—	—	—	$A_{4,5}$	$A_{4,6}$
гідроелектроенергія	—	—	—	—	—	—
вітрова, сонячна енергії	—	—	—	—	—	—
біопаливо, відходи	$A_{5,1}$	$A_{5,2}$	$A_{5,3}$	$A_{5,4}$	$A_{5,5}$	$A_{5,6}$
теплоенергія	—	—	—	—	—	—
Сектор перетворення:						
газові підприємства	$A_{6,1}$	$A_{6,2}$	$A_{6,3}$	$A_{6,4}$	$A_{6,5}$	$A_{6,6}$
ТЕЦ	$A_{7,1}$	$A_{7,2}$	$A_{7,3}$	$A_{7,4}$	$A_{7,5}$	$A_{7,6}$
нафтопереробні заводи	$A_{8,1}$	$A_{8,2}$	$A_{8,3}$	$A_{8,4}$	$A_{8,5}$	$A_{8,6}$
коксіві підприємства	$A_{10,1}$	$A_{10,2}$	$A_{10,3}$	$A_{10,4}$	$A_{10,5}$	$A_{10,6}$
теплоцентралі	$A_{11,1}$	$A_{11,2}$	$A_{11,3}$	$A_{11,4}$	$A_{11,5}$	$A_{11,6}$
електростанції	$A_{12,1}$	$A_{12,2}$	$A_{12,3}$	$A_{12,4}$	$A_{12,5}$	$A_{12,6}$
інші перетворення	$A_{13,1}$	$A_{13,2}$	$A_{13,3}$	$A_{13,4}$	$A_{13,5}$	$A_{13,6}$



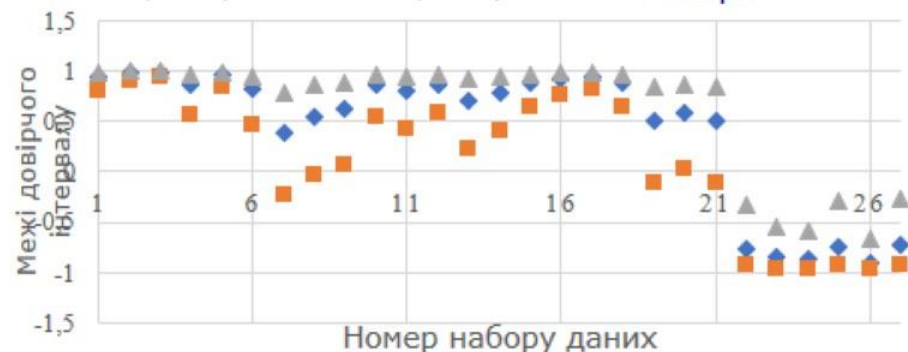
Для малих значень об'єму вибірки n доцільно використати скоригований коефіцієнт кореляції:

$$\hat{r}' = \hat{r} \left[1 + \frac{1 - \hat{r}^2}{2(n-3)} \right]$$

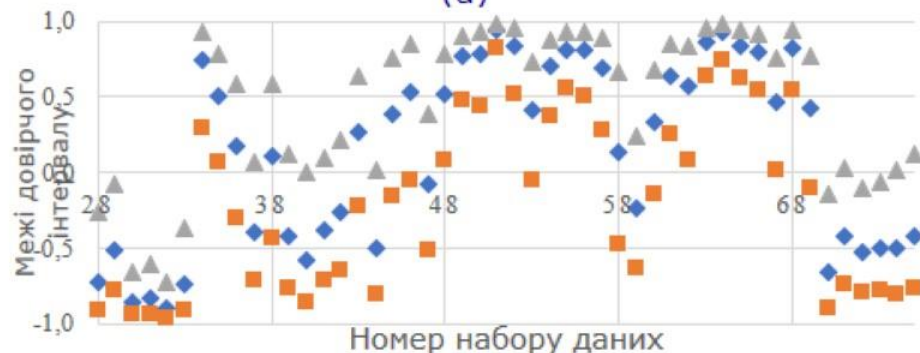
Довірчий інтервал коефіцієнта кореляції визначається за формулою:

$$\text{tgh} \dot{Z}_1 \leq r \leq \text{tgh} \dot{Z}_2,$$

$$\dot{Z} = \frac{1}{2} \ln \left(\frac{1 + \hat{r}}{1 - \hat{r}} \right) = 1,1513 \lg \left(\frac{1 + \hat{r}}{1 - \hat{r}} \right), \hat{r} \neq 1, \quad \text{-Z-перетворення Фішера}$$



(а)



(б)

Значення $\hat{r}'$, $\text{tgh} \dot{Z}_1$ та $\text{tgh} \dot{Z}_2$ для різних наборів даних:
а – типи енергоресурсів; б – сектор перетворення

	Назва	Контролюючі забруднювачі	Метео-параметри	Бездротовий зв'язок	Мобільність	Інтервал вим.	Ціна, тис. \$	Фото
Вітчизняні	604EX20-С	CO, NO, NO ₂ , SO ₂ , NH ₃ , H ₂ S, O ₃ , Cl ₂	–	+	–	20 хв	~10	
	604EX20-П	CO, NO, NO ₂ , SO ₂ , NH ₃ , H ₂ S, O ₃ , Cl ₂	–	–	+	20 хв	~7	
	АСЕМА	CO, C _x H _y , NO, NO ₂ , SO ₂ , O ₃	–	+	–	20 хв	дог.	
	ПЕЛКЗА	CO, C _x H _y , NO, NO ₂ , SO ₂ , O ₃	–	+	+	20 хв	дог.	
	ПОСТ-2	NO, NO ₂ , C _x H _y , CO, O ₃ , NH ₃ , H ₂ S, пил	+	+	–	1 хв	дог.	
Закордонні	Perkin Elmer (ELM)	PM ₁₀ , NO, NO ₂ , O ₃ , SO ₂ , ЛОР	±	+	–	1 хв	~6	
	Air Quality Egg	PM, CO, NO ₂ , O ₃	–	–	+	1 хв	0,2	
	RTI (MicroPEM)	PM _{2.5}	–	–	+	1 хв	~2	
	UNI- TEC (SENS- IT)	CO, NO ₂ , O ₃	-	+	+	1 хв	~2,2	
	AQMesh (v. 4.0)	CO, NO, NO ₂ , O ₃	+	+	-	1 хв	~10	
	Вим. модуль (EcoCity)	PM ₁ , PM _{2.5} , PM ₁₀ , NO, NO ₂ , CO, CO ₂ , SO ₂ , NH ₃ ,	+	+	+	1 хв	~від 0,1	

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix}.$$
[illegible]
$$y_i = \sum_{k=1}^n a_{ik} x_k, i = 1, 2, \dots, m.$$

Матриці рівня інформативності досліджуваних постів: а) 3; б) 5

№	Параметр	Значення параметру	Колір
1	3	Отримано 100% запланованих даних	Зелений
2	2	Отримано даних в межах $0 < x < 100$ (%)	Жовтий
3	1	Дані не отримано	Червоний
4	0	Даті не існує	Синій

Для оцінювання ступеня схожості груп даних можуть бути використані наступні міри:

- Евклідова відстань
- квадрат Евклідової відстані
- Мангетенська відстань
- відстань Чебишева
- степенева відстань

$$\rho(x, x') = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - x'_i)^2}$$

$$\rho(x, x') = \sum_{i=1}^n (x_i - x'_i)^2$$

$$\rho(x, x') = |x_i - x'_i|$$

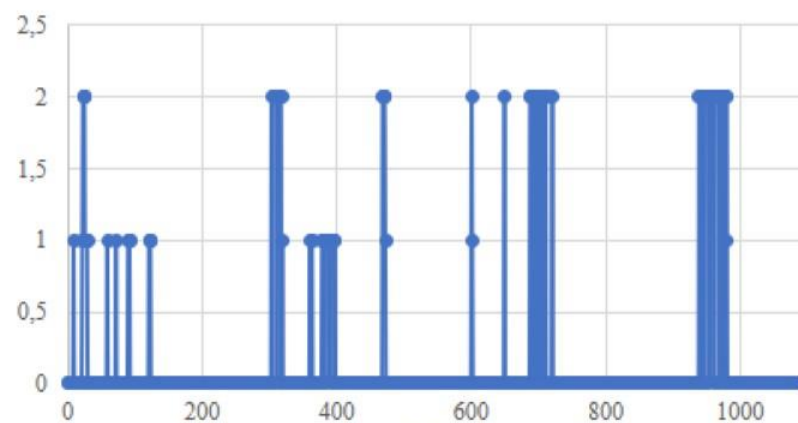
$$\rho(x, x') = \max(|x_i - x'_i|)$$

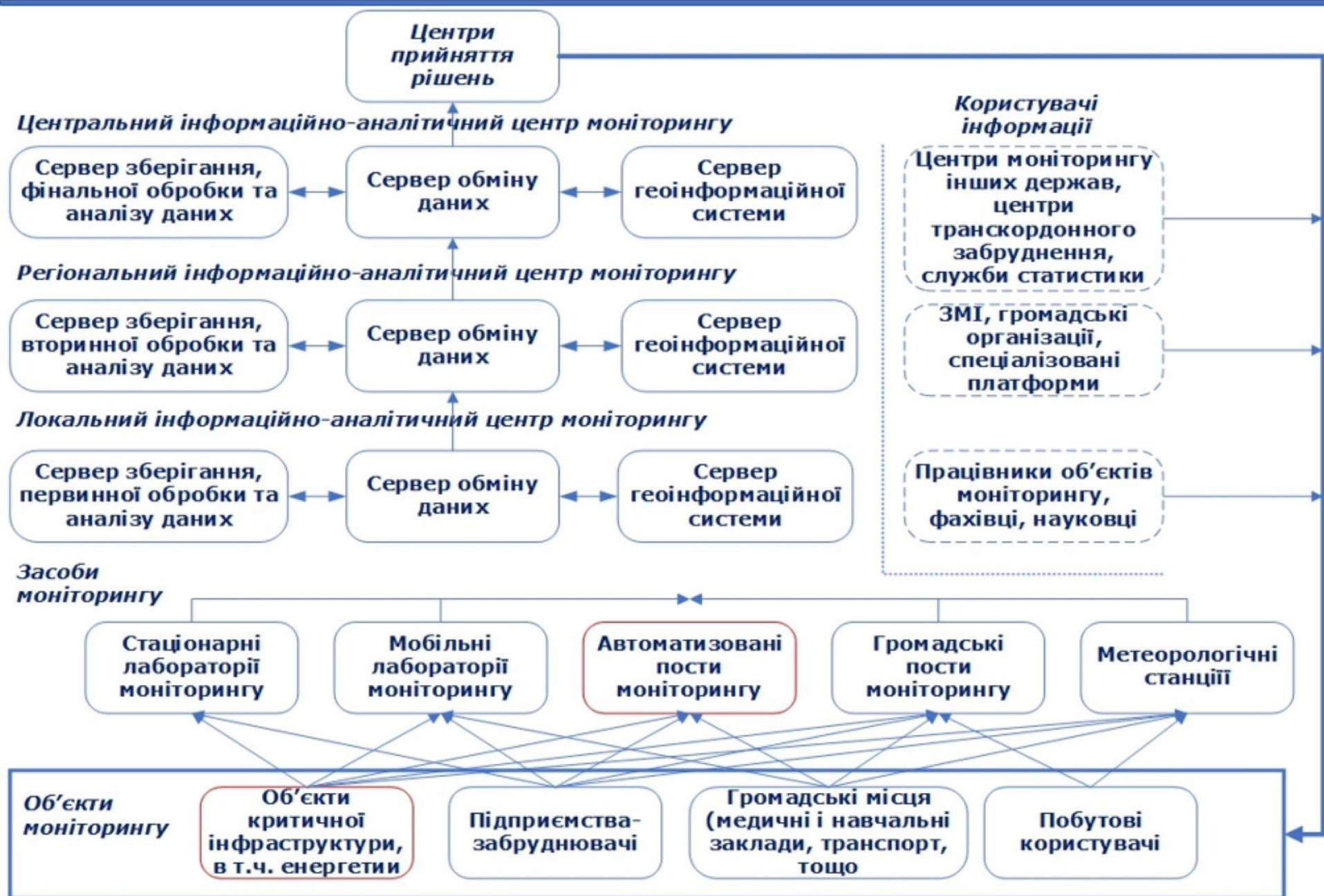
$$\rho(x, x') = \sqrt[p]{\sum_{i=1}^n (x_i - x'_i)^p}$$

Характеристика груп даних, отриманих з вимірювальних постів №3, 5, 7 та 20

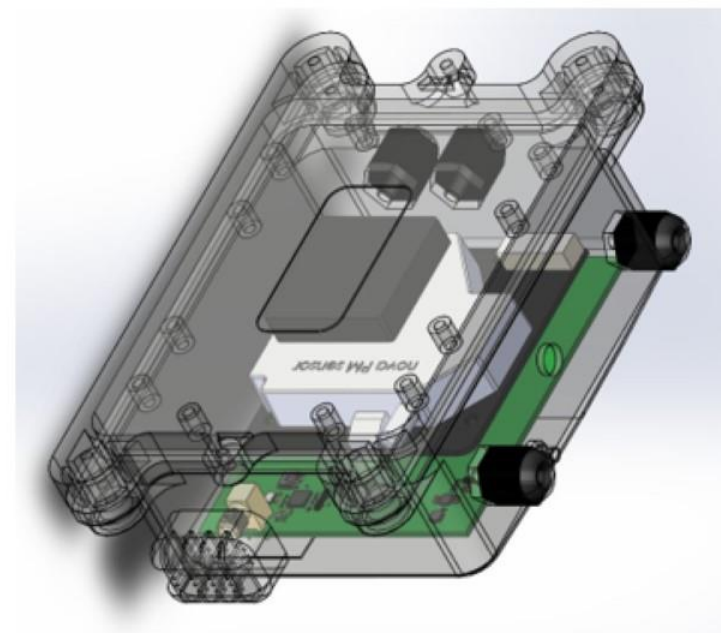
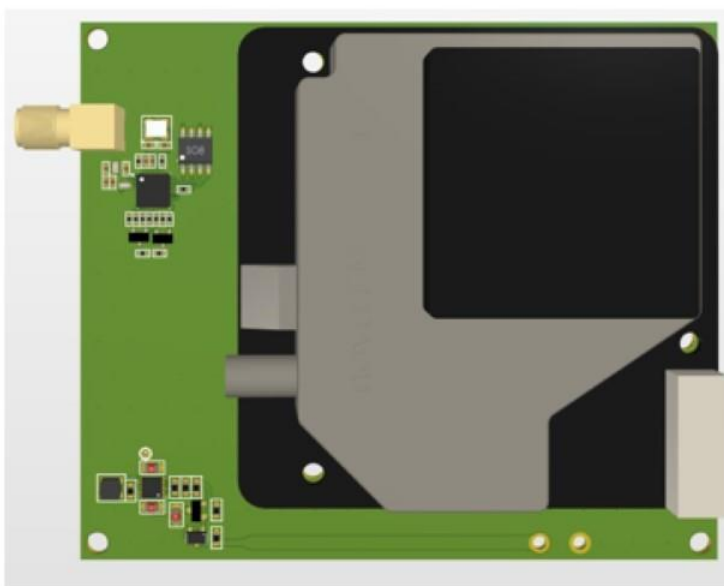
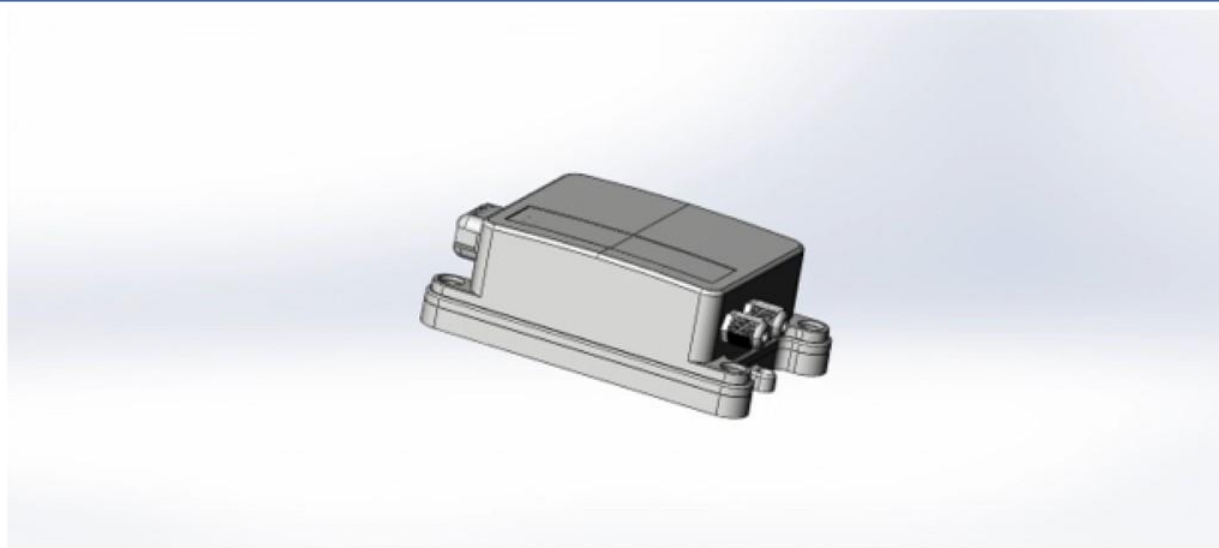
Номер посту	Кількість груп		S	(3/S) 100%
3	0	14	761	76.3%
	1	174		
	2	6		
	3	581		
5	0	14	761	76.3%
	1	177		
	2	3		
	3	581		
7	0	20	1065	63.4%
	1	383		
	2	7		
	3	675		
20	0	20	1065	56.6%
	1	429		
	2	33		
	3	603		

*S=1+2+3





Сенсор	Тип сенсора	Параметр	Од. вим.	Роздільна здатність	Вимірювальний діапазон	Похибка вимірювання	Час розігріву	Час відгуку	Тривалість роботи
PMS 5003/7003	Оптичний	PM ₁ , PM _{2.5} , PM ₁₀	мкг/м³	0,1	0-1000	±10 мкг/м³ (0-100 мкг/м³); ±10% (100-1000 мкг/м³)	—	1 с	2 роки
SDS011	Оптичний	PM _{2.5} , PM ₁₀	мкг/м³	0,1	0-1000	±10 мкг/м³ (0-100 мкг/м³); ±15% (100-1000 мкг/м³)	—	1 с	2 роки
BME280		Температура	°C	0,01	-40...85	±1 °C (0-85 °C); ±1,5 °C (-40...0 °C)	—	1 с	>5 років
		В. вологість	%	0,01	0...100	±3%			
		Абс. тиск	гПа	0,01	300...1100	± 1 гПа (0-65 °C); ±1,7 гПа (-20-0 °C)			
MICS-6814	MOS	NO ₂	ppm	0,001	0.02...20	~±20%	~ 3 год	1 с	1 рік
		CO			1...1000				
		NH ₃			1...300				
ZE25-O3	EC	O ₃	ppm	0,01	0...10	~±10 ppb	~ 3 хв	~ 90 с	2 роки
ZE03-SO2	EC	SO ₂	ppm	0,01	0...20	~±10 ppb	~ 3 хв	~ 30 с	2 роки
ZE08-CH2O	EC	CH ₂ O	ppb	10	0...5000	~±10 ppb	~ 180 с	~ 60 с	2 роки
MH-Z19	EC	CO ₂	ppm	1	0...5000	± (50 ppm +5%)	~ 180 с	~ 60 с	>5 років
RadKit	Електромагніт.	Рівень радіації	мкР/год	1	0...1000	~±10%	~ 60 с	~ 60 с	2 роки





Технічні характеристики модуля

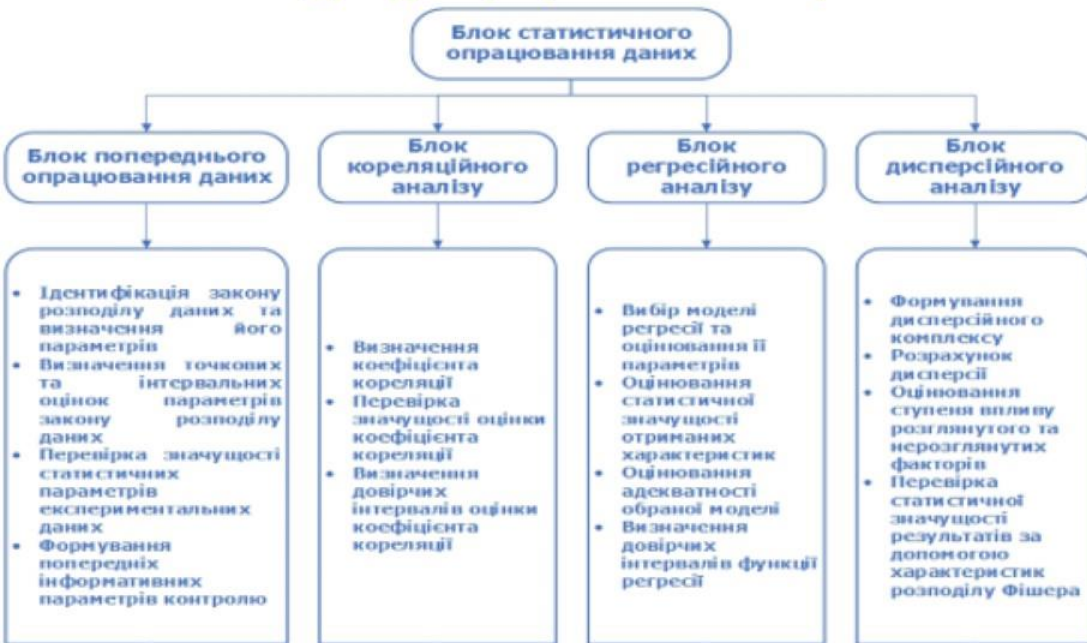
Параметр	Значення
РМ сенсор	PMS 5003/7003 та/або SDS011
Метеорологічні сенсори	BME 280, DHT-22, 3xDS18B20
Підтримка інших сенсорів	• формальдегід (CH_2O) • монооксид карбону (CO) • діоксид карбону (CO_2) • монооксиду нітрогену (NO) • діоксид нітрогену (NO_2) • діоксиду сульфуру (SO_2) • аміак (NH_3) • озон (O_3)
Джерело живлення	5В (USB-сумісний), вбудований акумулятор (3.7 В, 2000 мАч) та альтернативне джерело живлення (сонячна панель)
Зв'язок	GSM, Wi-Fi та Mesh модулі
Темп. екс.	-20 ... +60 °C
Атм. тиск	94 ... 106,7 кПа (630 ... 800 мм.рт.ст.)

**Зовнішній вигляд
вимірювального
модуля**

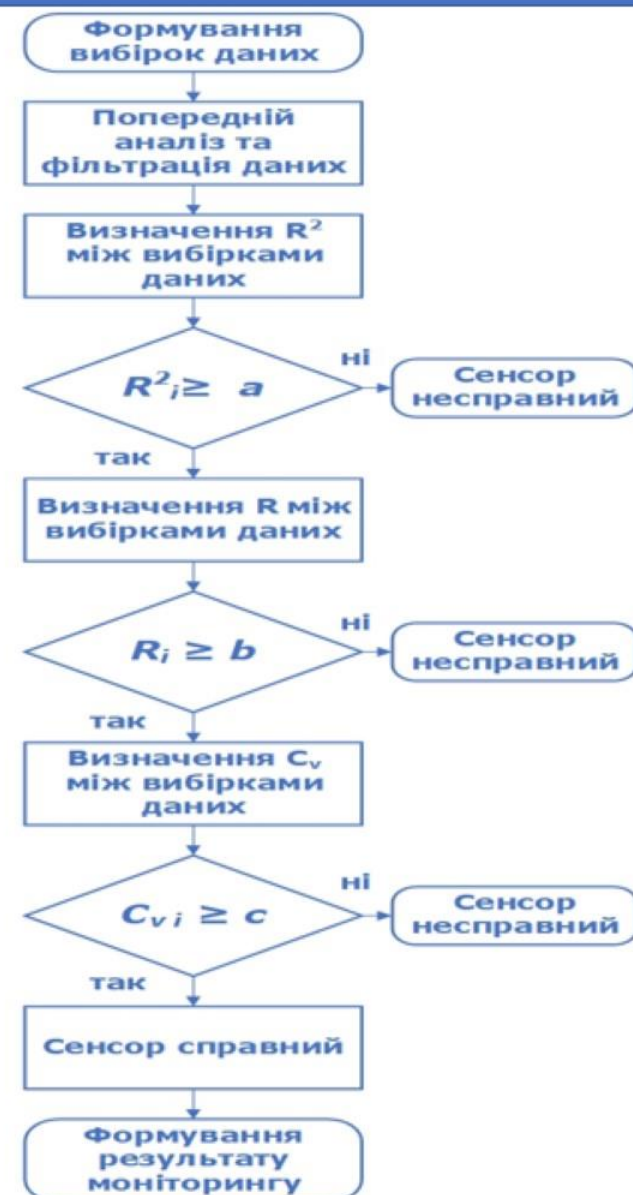
**Патент України
№149325 від
11.11.2021**



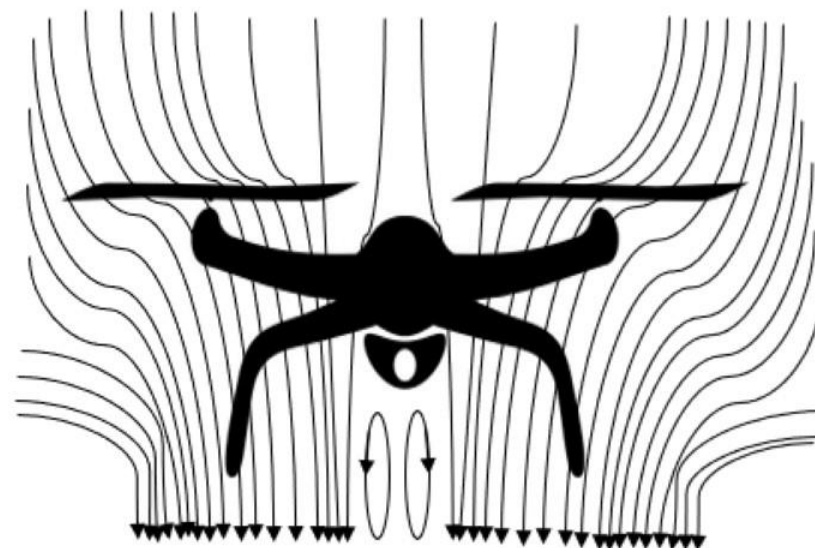
Структура програмного пакету



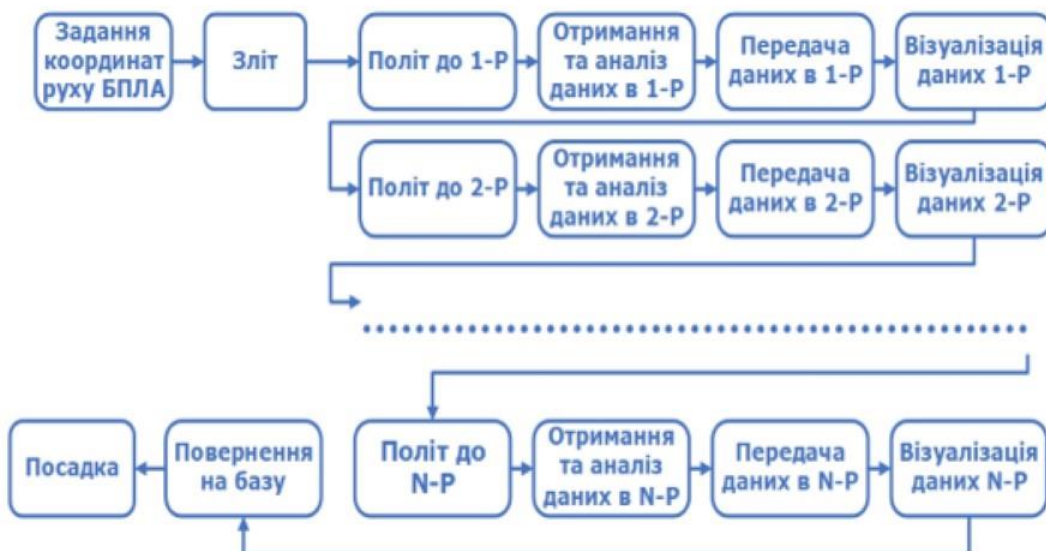
Структура блоку статистичного опрацювання даних



Алгоритм визначення технічної справності сенсорів вимірювальних модулів



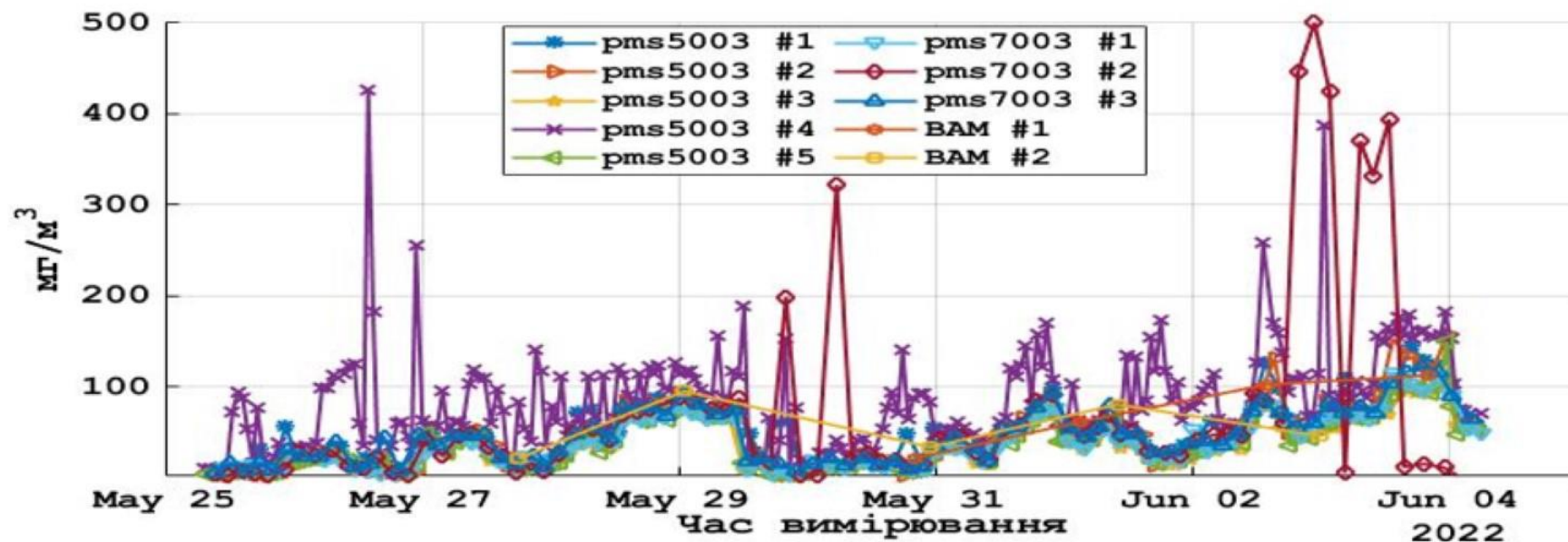
Схематичне розповсюдження повітряних потоків при функціонуванні БПЛА гелікоптерного типу



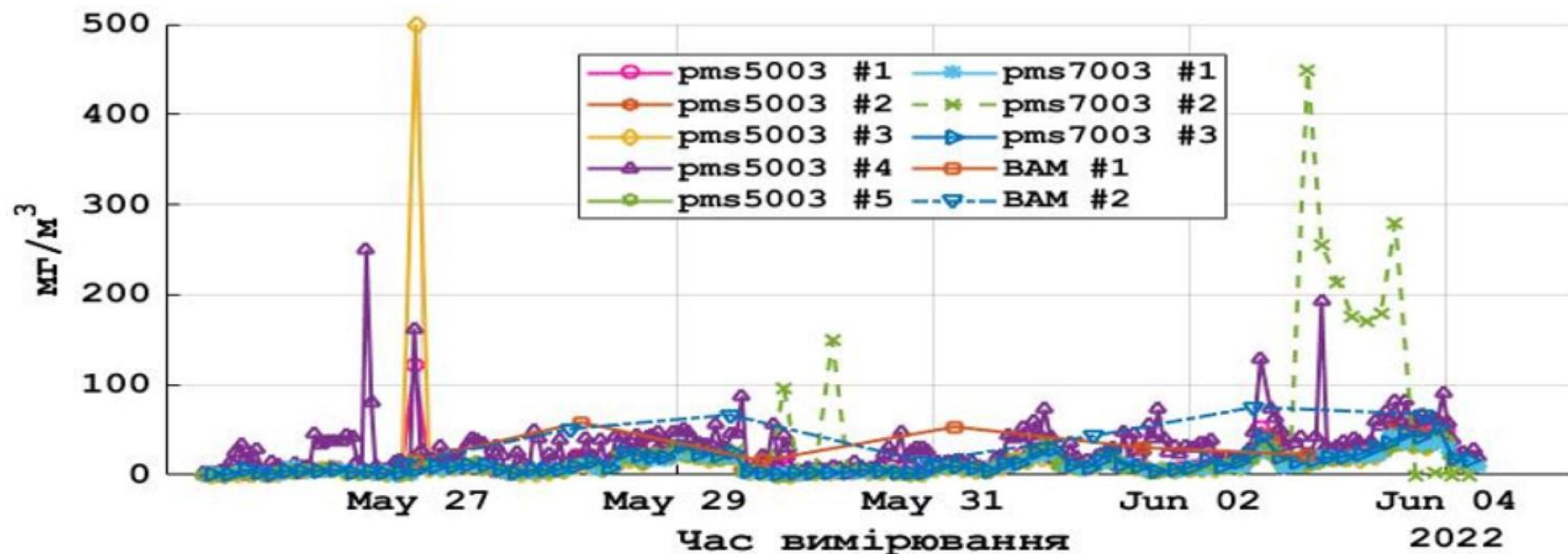
Алгоритм моніторингу забруднення повітря на базі БПЛА гелікоптерного типу

Розроблені вимірювальні модулі системи моніторингу забруднення повітря можуть класифікуватися як товари подвійного призначення, оскільки оснащення ними БПЛА дозволяє здійснювати заходи радіаційної, хімічної та біологічної розвідки.

PM_{2.5}



PM₁₀

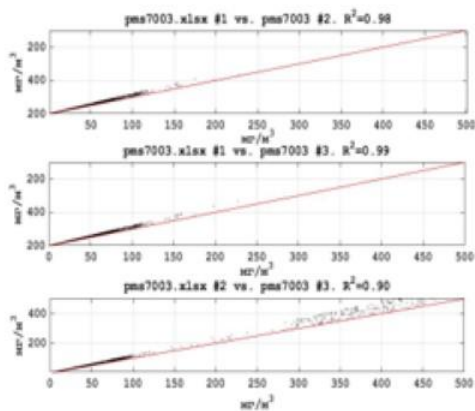


PM_{2.5}

PMS 7003



PMS 5003

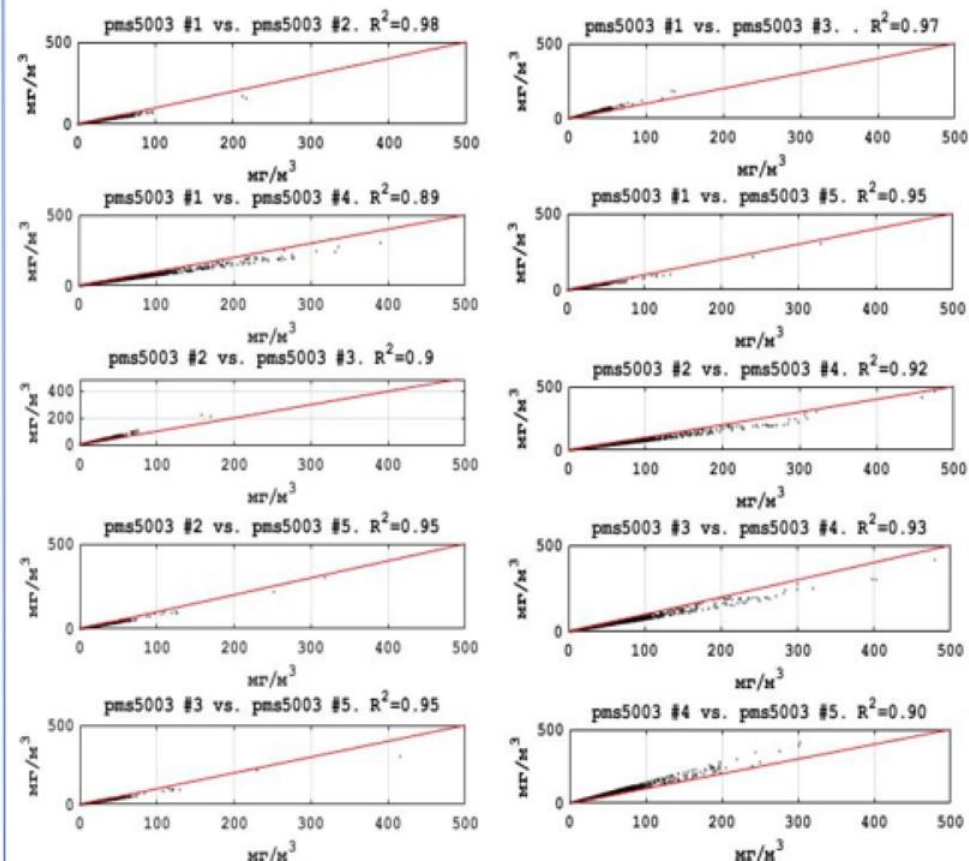
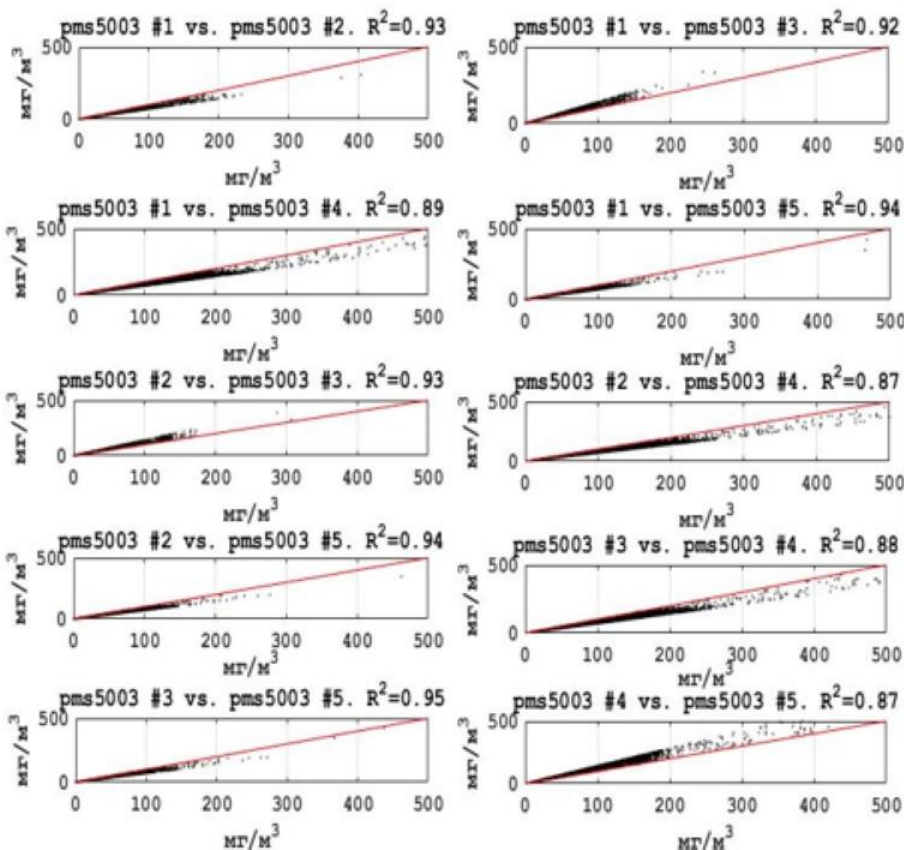
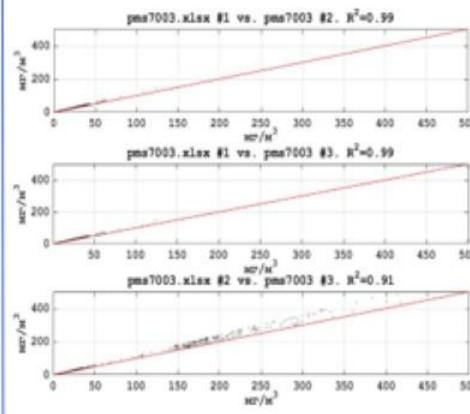


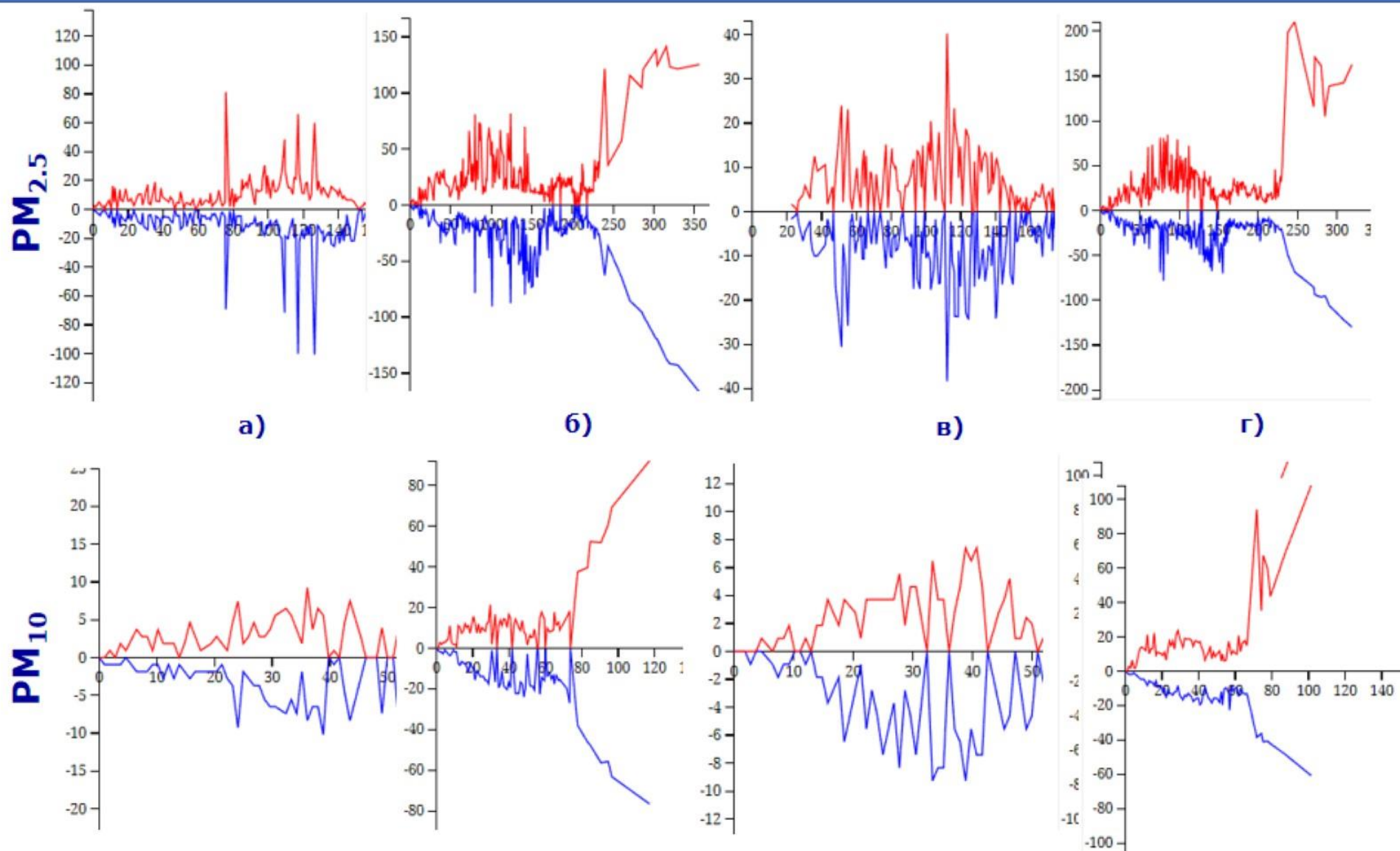
PM₁₀

PMS 7003

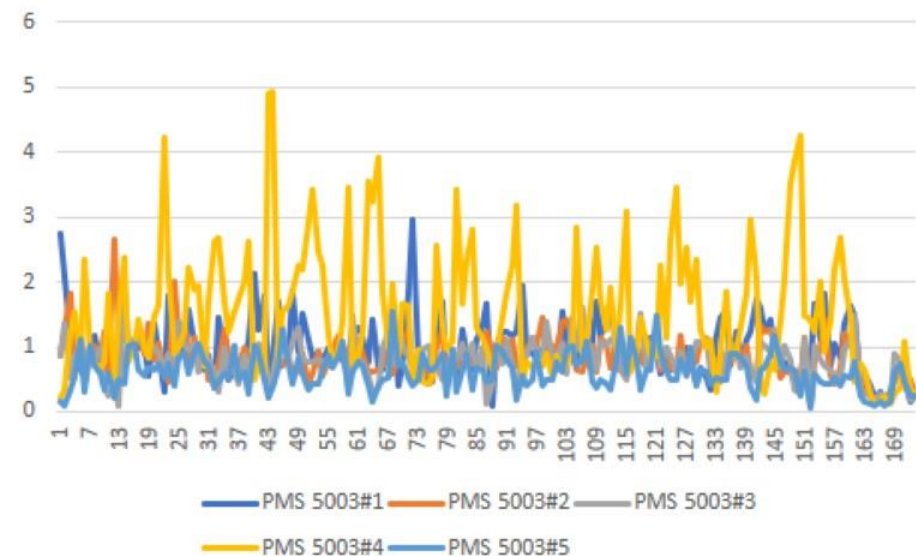


PMS 5003

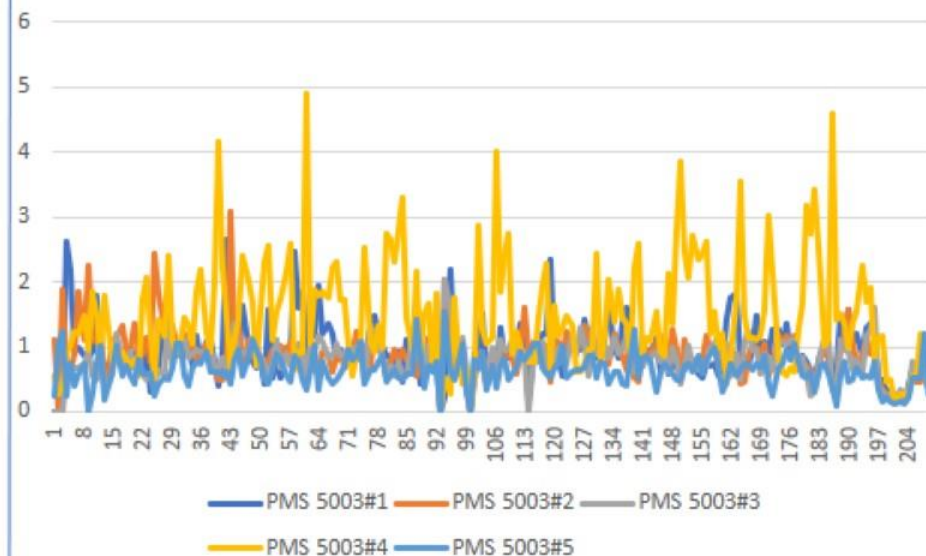
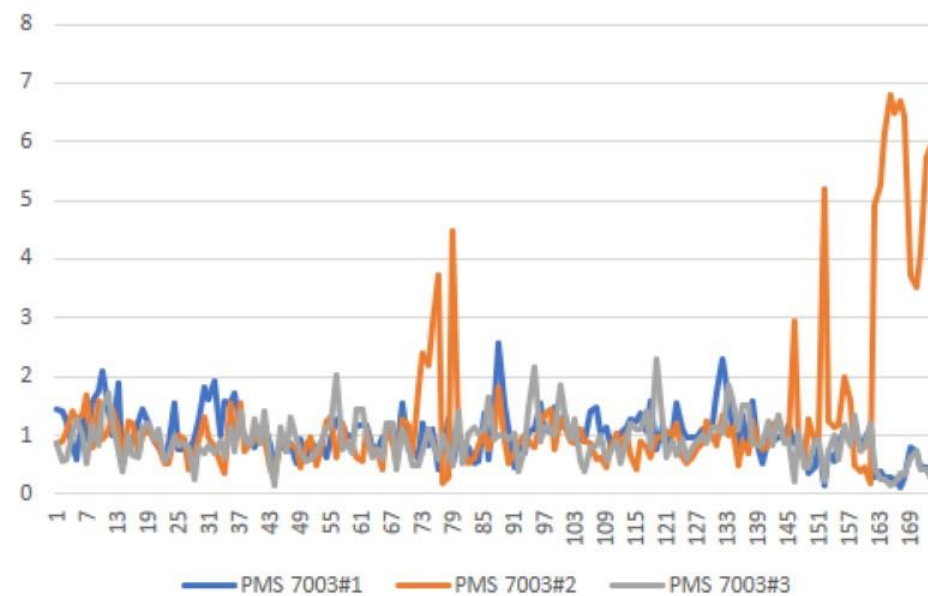




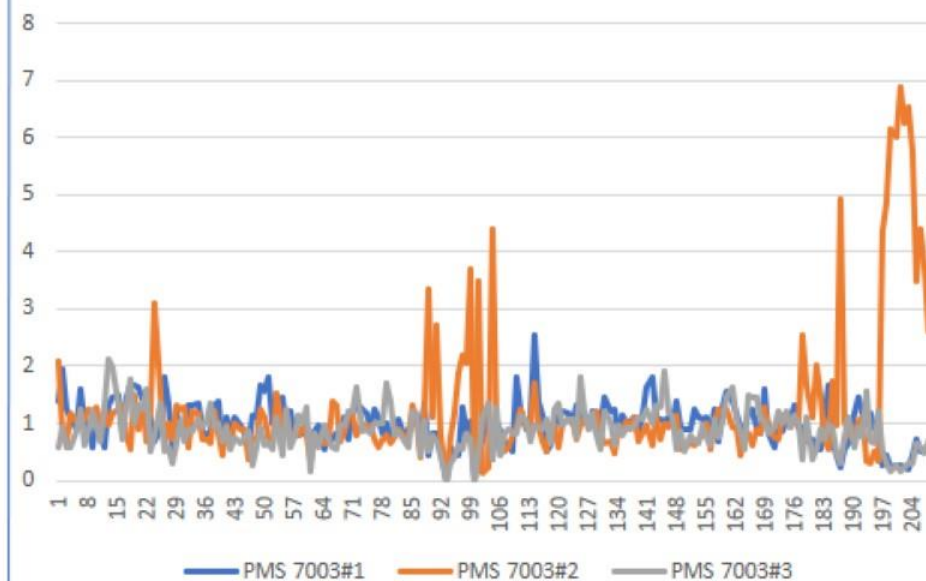
Значення розмаху (R) для різних груп сенсорів: а) PMS 5003 (#1,2,3); б) PMS 5003 (#1,2,3,4), в) PMS 7003 (#1,2,3); г) PMS 5003 (#1,2,3,4) та PMS 7003 (#1,2,3)

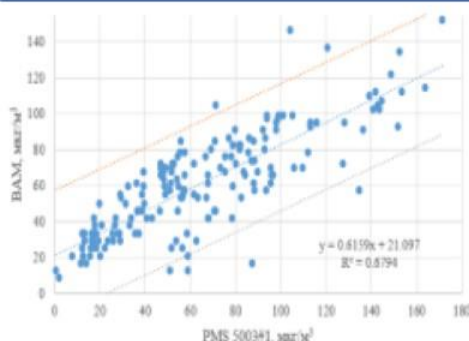


$PM_{2.5}$

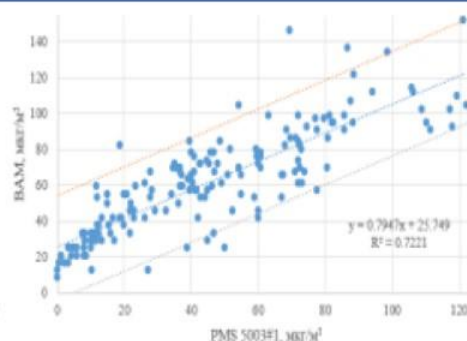


PM_{10}

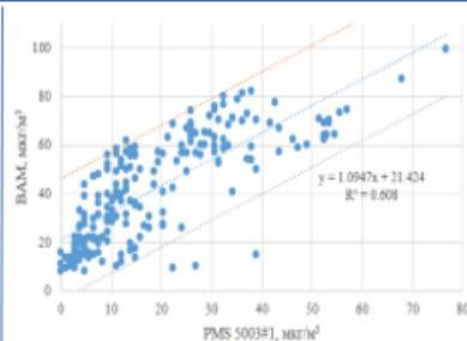




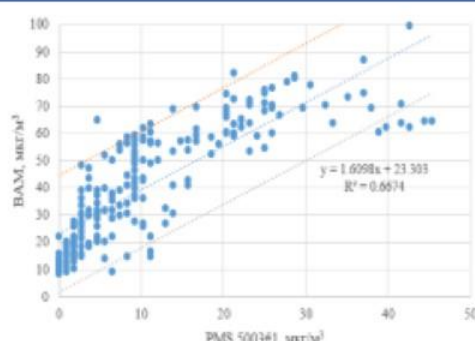
а)



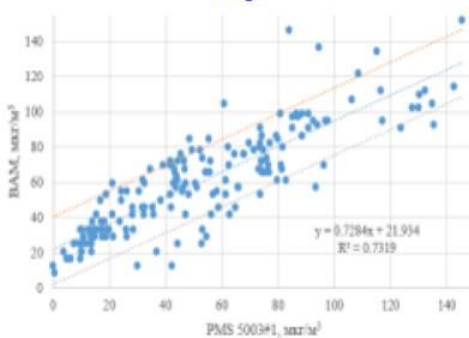
б)



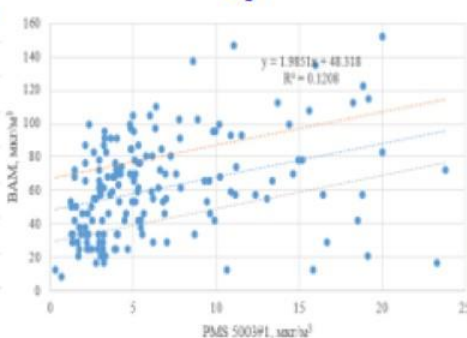
а)



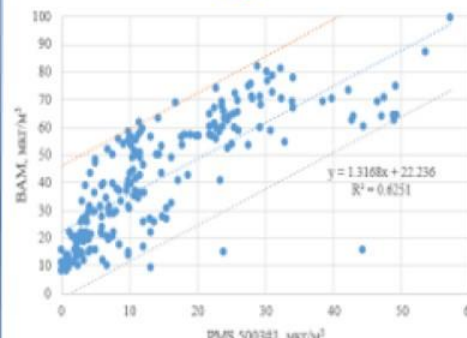
б)



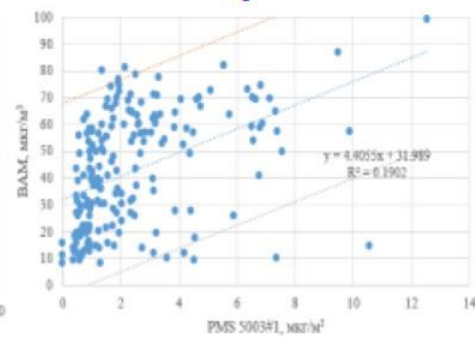
в)



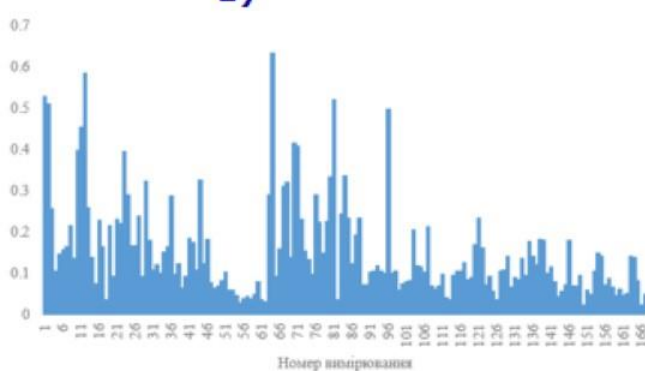
г)



в)



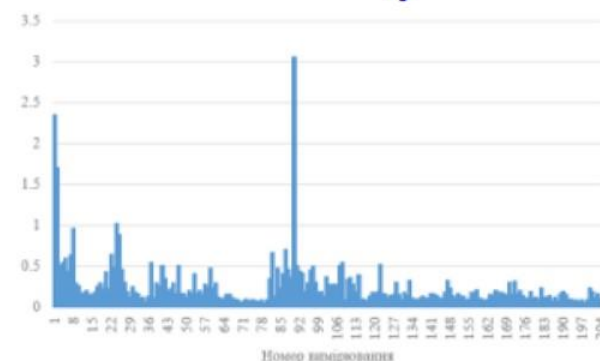
г)



д)

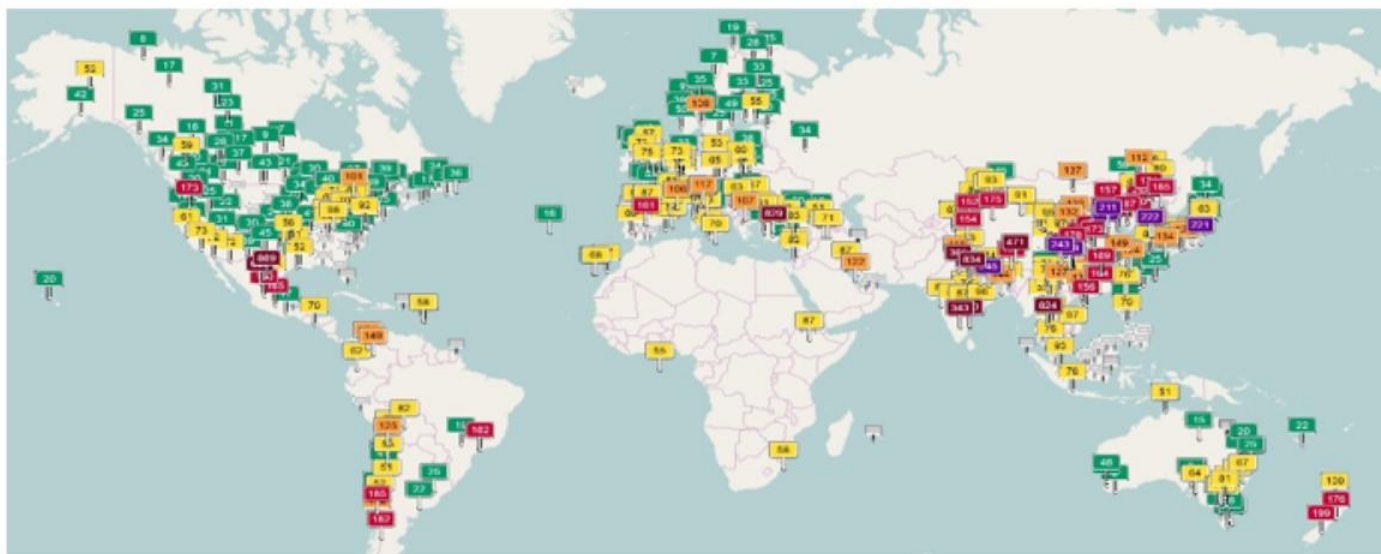
← **PM_{2.5}**

PM₁₀ →

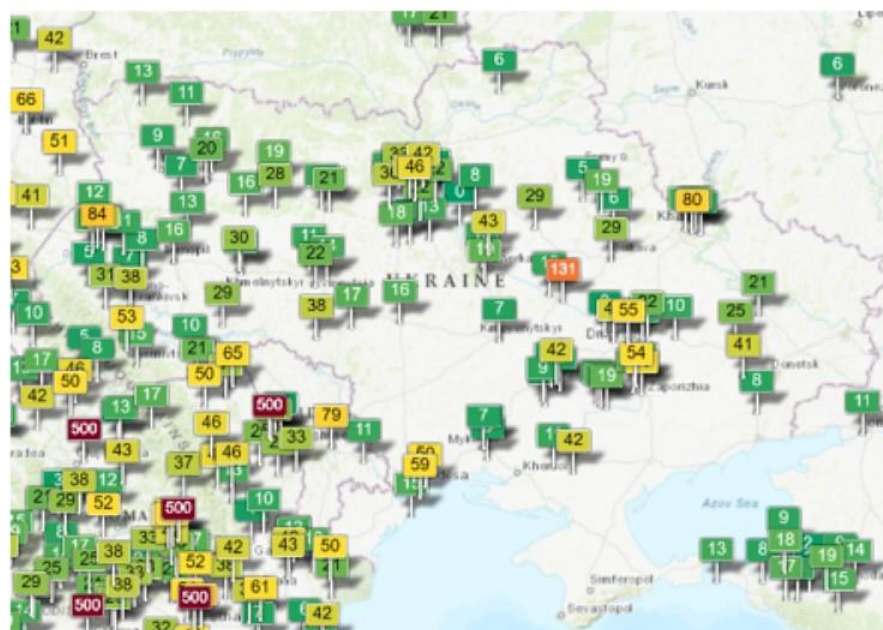


д)

Залежності деяких значень погодинних вибірок експериментальних даних сенсора PMS 5003#1 (а – максимального; б – мінімального, в – середнього, г – СКВ) від еталонних вимірювань та значення коефіцієнта варіації (д)

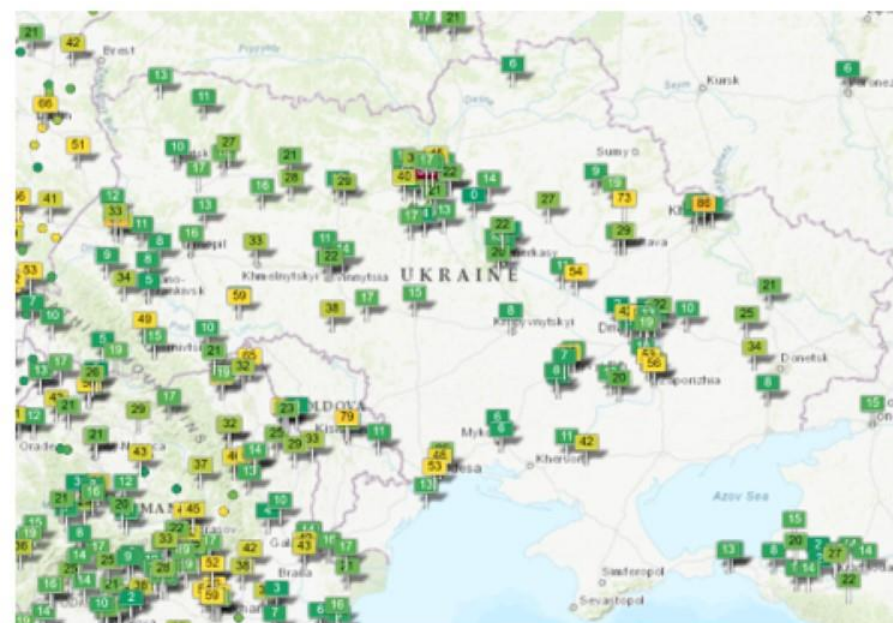


2017 - 0



AQICN

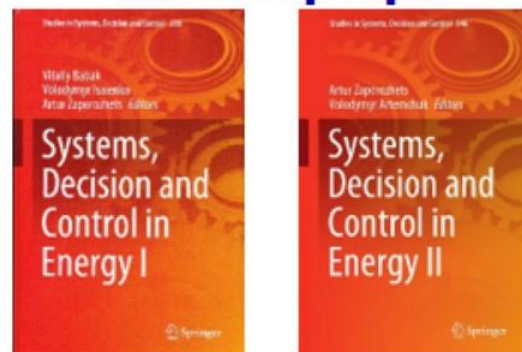
2022 - >200



WAQI

Результати проведених досліджень впроваджено та використано ТОВ НВП «Машинобудування» (м. Дніпро), ДП «Завод «Електроважмаш»» (м. Харків), ТОВ «Укрекоконсалт» (м. Київ), ТОВ «Буд-Буд» (м. Лубни), ТОВ «Передові мембранні технології» (м. Київ), ТОВ «Науковий парк ДЕА «Чорнобиль» (м. Київ) та у навчальному процесі кафедр автоматизації та кібербезпеки енергосистем Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» (м. Харків) і кафедри хімії і хімічної технології Національного авіаційного університету (м. Київ).

Монографії



Впровадження



Патенти





м. Київ, вул. Антоновича, 172

тел. (044)-294-67-22

e-mail: a.o.zaporozhets@nas.gov.ua

ДЯКУЮ ЗА УВАГУ

Запорожець Артур Олександрович

23 травня 2023 р.
м. Київ