

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ, ІНЖЕНЕРІЇ ТА ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ЦИВІЛЬНОЇ ТА ПРОМИСЛОВОЇ БЕЗПЕКИ

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач випускової кафедри
_____ Б.Д. Халмурадов
« _____ » _____ 2023р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)
ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТР
ЗА СПЕЦІАЛЬНІСТЮ 263 «ЦИВІЛЬНА БЕЗПЕКА»

**Тема: «Підвищення безпеки сельбищних зон у прилеглий
території аеропорту»**

Виконавець: студент групи 207МЗ ЦЗ Синило Катерина Вікторівна
(студент, група, прізвище, ім'я, по батькові)

Керівник: д.т.н., професор кафедри ЦПБ Третяков Олег Вальтерович
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові)

Нормоконтролер: _____
(підпис)

Федина В.П.
(П.І.Б.)

КИЇВ 2023

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет екологічної безпеки, інженерії та технологій

Кафедра цивільної та промислової безпеки

Спеціальність: 263 «Цивільна безпека»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Б.Д. Халмурадов

« _____ » _____ 2023р.

ЗАВДАННЯ

на виконання кваліфікаційної роботи

Синило Катерини Вікторівни

1. Тема роботи **«Підвищення безпеки сельбищних зон у прилеглий території аеропорту»** затверджена наказом ректора від «31» серпня 2023р. №1577/ст.
2. Термін виконання роботи з 02.10.2023р. по 31.12.2023р.
3. Вихідні дані роботи: державні нормативно-правові акти, що регламентують цивільний захист населення; генеральний план аеродрому Київ (Жуляни), геометричні та експлуатаційні параметри резервуарів складу паливно-мастильних матеріалів аеродрому Київ (Жуляни), метеорологічні характеристики (температура атмосферного повітря, вологість, річна роза вітрів), довідково-аналітичні матеріали.
4. Зміст пояснювальної записки: аналіз несприятливого впливу процесів, характерних для експлуатації об'єктів цивільної авіації, на стан здоров'я людини ; дослідження основних заходів з нормування якості атмосферного повітря в межах аеродрому цивільної авіації; оцінка викидів та концентрацій забруднюючих речовин від складу

ПММ на приаеродромній території КП МА «Київ» за звичайних та аварійних умов експлуатації; обґрунтування рекомендацій з підвищення безпеки сельбищних зон у прилеглий території аеропорту; визначення ефективних заходів захисту та вивчення принципів, що лежать в основі прийняття рішень щодо їх впровадження, покращення організації реагування на випадки випромінювання, зокрема залучення експертної підтримки з-за кордону. Виявлення недоліків у існуючих системах та розробка нових стратегій для поліпшення заходів захисту та уникнення негативних наслідків.

1. Календарний план-графік:

№ п/п	Завдання	Термін виконання	Підпис керівника
1	Аналітичний огляд літературних джерел	03.10.2023-06.10.2023	
2	Складання календарного плану дипломної роботи, пошук та збір інформації, аналіз наукової літератури	07.10.2023-13.10.2023	
3	Загальна характеристика	15.10.2023-17.10.2023	
4	Підготовка додатків до пояснювальної записки	18.10.2023-20.10.2023	
5	Підготовка основної частини (Розділ I)	23.10.2023-29.10.2023	
6	Підготовка основної частини (Розділ II)	01.11.2023-10.11.2023	
7	Підготовка основної частини (Розділ III)	15.11.2023-20.11.2023	
8	На основі проаналізованої інформації написати загальні висновки	08.12.2023-12.12.2023	
9	Передзахист кваліфікаційної роботи	15.12.2023	
10	Підготовка до захисту: доповідь, презентація, ілюстративний (роздатковий) матеріал	20.12.2023	
11	Захист кваліфікаційної роботи	27.12.2023	

2. Дата видачі завдання: «02» жовтня 2023 р.

Керівник кваліфікаційної роботи: _____ д.т.н., доцент Третьков О.В.

Завдання прийняв до виконання: _____ Синило К.В.,

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи «Підвищення безпеки сельбищних зон у прилеглій території аеропорту» 94ст., 71 літературне джерело.

ЗАБРУДНЕННЯ АТОМСФЕРНОГО ПОВІТРЯ АЕРОПОРТІВ ТА ПРИЛЕГЛОЇ ТЕРИТОРІЇ, ВИКИДИ СКЛАДУ ПММ, РУЙНУВАННЯ РЕЗЕРВУАРІВ СКЛАДУ ПММ, САНІТАРНО-ЗАХИСНА ЗОНА.

Об'єкт дослідження є викиди забруднюючих речовин та їх концентрації в атмосферному повітря внаслідок звичайних та аварійних умов експлуатації складу ПММ.

Предмет дослідження є викиди забруднюючих речовин та їх концентрації в атмосферному повітря внаслідок звичайних та аварійних умов експлуатації складу ПММ. обґрунтування санітарно-захисна зона складу ПММ.

Мета роботи – вдосконалити обґрунтування санітарно-захисної зони аеропорту з урахуванням сценарію аварійної ситуації.

Завдання роботи:

- розглянути основні джерела викидів, що експлуатуються в зоні аеропорту;
- продемонструвати результати інвентаризації викидів стаціонарних та пересувних джерел в аеропортах України та Європи;
- проаналізувати несприятливий впливу процесів, характерних для експлуатації об'єктів цивільної авіації, на стан здоров'я людини;
- дослідити основні заходи з нормування якості атмосферного повітря в межах аеродрому цивільної авіації;
- вионати розрахунок викидів та концентрацій забруднюючих речовин від складу ПММ на приаеродромні території КП МА «Київ» за звичайних та аварійних умов експлуатації;
- надати рекомендації з підвищення безпеки сельбищних зон у прилеглій території аеропорту.

За виконання досліджень та розробок були використані попередній аналіз інвентаризації джерел викидів аеропорту, розрахунок секундних та валових викидів складу ПММ, моделювання максимально-разових концентрацій забруднюючих речовин з урахуванням несприятливих метеорологічних умов за методом Ейлера.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1. КОНТРОЛЬ ТА РЕГУЛЮВАННЯ ЗАХОДІВ З ОХОРОНИ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ОБ'ЄКТІВ ЦИВІЛЬНОЇ АВІАЦІЇ	11
1.1 Проблеми забруднення атмосферного повітря аеропортів	11
1.2 Аналіз несприятливого впливу процесів, характерних для експлуатації об'єктів цивільної авіації, на стан здоров'я людини	14
1.3 Нормування якості атмосферного повітря в межах аеродрому цивільної авіації	19
1.4 Контроль та регулювання місцевої якості атмосферного повітря ..	23
2. ОСНОВНІ ЕЛЕМЕНТИ МОДЕЛЮВАННЯ РІВНІВ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ АЕРОПОРТАХ	45
3.ОЦІНКА РІВНІВ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ В МЕЖАХ ПРИЛЕГЛОЇ ТЕРИТОРІЇ МІЖНАРОДНОГО АЕРОПОРТУ «КИЇВ»	59
3.1 Аналіз вихідних даних для оцінки рівнів забруднення атмосферного повітря під час експлуатації складу ПММ	59
3.2 Розрахунок викидів та концентрацій забруднюючих речовин від складу ПММ за звичайних (до військових подій) умов експлуатації ...	63
3.3 Розрахунок викидів та концентрацій забруднюючих речовин від складу ПММ за умов надзвичайної ситуації (руйнування резервуару з гасом та бензином)	72
4. РЕКОМЕНДАЦІЇ З ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ СЕЛЬБИЩНИХ ЗОН У ПРИЛЕГЛІЙ ТЕРИТОРІЇ АЕРОПОРТУ	84
ВИСНОВКИ	87

ВСТУП

Актуальність теми.

Забруднення атмосферного повітря при здійсненні експлуатаційних операцій авіатранспортними системами є важливою екологічною проблемою. Проблема регіонального забруднення є актуальною для України у зв'язку із наближенням житлових районів до аеропортів (зокрема для аеропортів Київ (Жуляни), Львів, Одеса, Харків, Запоріжжя). Важливість даної екологічної проблеми визначається несприятливим впливом викидів джерел на стан атмосферного повітря та здоров'я мешканців довколишніх районів аеропорту.

До війни актуальність зазначеної екологічної проблеми була обумовлена зростанням обсягів міжнародних та внутрішніх авіаційних перевезень на глобальному (прогноз ІСАО становив 5-6 %) та національному рівнях. На сьогодні зазначена проблема залишається актуальною, оскільки аеропорти відносяться до об'єктів критичної інфраструктури, а військові дії РФ залишають небезпеку регіональної техногенної аварії наслідки якої можуть спричинити вкрай високі рівні забруднення атмосферного повітря. Серед об'єктів інфраструктури особливе місце займають склади паливно-мастильних матеріалів (ПММ), руйнування яких може стати техногенною катастрофою з серйозними наслідками для довкілля, зокрема в частині погіршення місцевої якості повітря. Аналіз інфраструктури аеропортів України також вказує, що локація складу ПММ переважно знаходиться на околицях аеродрому та поблизу сельбищних районів, що підвищує ризики надзвичайної ситуації для мешканців довколишніх районів, особливо сьогодні.

Мета роботи – вдосконалити обґрунтування санітарно-захисної зони аеропорту з урахуванням сценарію аварійної ситуації.

Завдання роботи:

- розглянути основні джерела викидів, що експлуатуються в зоні аеропорту;

- продемонструвати результати інвентаризації викидів стаціонарних та пересувних джерел в аеропортах України та Європи;

- проаналізувати несприятливий впливу процесів, характерних для експлуатації об'єктів цивільної авіації, на стан здоров'я людини;

- дослідити основні заходи з нормування якості атмосферного повітря в межах аеродрому цивільної авіації;

- вионати розрахунок викидів та концентрацій забруднюючих речовин від складу ПММ на приаеродромні території КП МА «Київ» за звичайних та аварійних умов експлуатації;

- надати рекомендації з підвищення безпеки сельбищних зон у прилеглий території аеропорту.

Об'єкт дослідження – викиди забруднюючих речовин та їх концентрації в атмосферному повітря внаслідок звичайних та аварійних умов експлуатації складу ПММ.

Предмет дослідження – викиди забруднюючих речовин та їх концентрації в атмосферному повітря внаслідок звичайних та аварійних умов експлуатації складу ПММ. обґрунтування санітарно-захисна зона складу ПММ.

Методи дослідження, застосовані в дипломній роботі: попередній аналіз інвентаризації джерел викидів аеропорту, розрахунок секундних та валових викидів складу ПММ, моделювання максимально-разових концентрацій забруднюючих речовин з урахуванням несприятливих метеорологічних умов за методом Ейлера.

Наукова новизна: обґрунтування нових принципів встановлення санітарно-захисної зони складу ПММ на базі результатів оцінки рівнів забруднення атмосферного повітря внаслідок аварійної ситуації на складі ПММ (руйнування резервуару з бензином та загорання на території складу ПММ).

Практичне значення отриманих результатів: Практичне значення одержаних результатів дослідження визначається можливістю їх

використання як інструменту для управління місцевою якістю повітря та розробки заходів захисту населення прилеглих житлових територій у випадку надзвичайних ситуацій техногенного характеру.

Апробація отриманих результатів.

Публікації:

1. K. Synylo, A. Krupko POLEMICA MODEL FOR LOCAL AIR QUALITY ASSESSMENT IN AIRPORTS **Екологічна безпека держави: тези доповідей XVII Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених і студентів**, м. Київ, 20 квітня 2023 р., Національний авіаційний університет. – К. : НАУ, 2023. – 25с.

2. К. Синило, Н. Кічата, О. Козлітін Аналіз здобутків та прогалин євроінтеграції національного законодавства з регулювання впливу цивільної авіації на атмосферне повітря. Матеріали XVI Міжнародній науково-технічній конференції «АВІА-2023», 18-20 квітня, 2023 р. С.5

Дипломна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків.

1. КОНТРОЛЬ ТА РЕГУЛЮВАННЯ ЗАХОДІВ З ОХОРОНИ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ОБ'ЄКТІВ ЦИВІЛЬНОЇ АВІАЦІЇ

1.1 Проблеми забруднення атмосферного повітря аеропортів

Конференція ООН з навколишнього середовища та розвитку, проведена у Ріо-де-Жанейро в червні 1992р. (UNCED), особливо відзначила шкоду, що її завдають навколишньому природному середовищу (НПС) транспортні засоби, зокрема, авіаційні. У підсумковому документі було підкреслено, що стан НПС є одним із найважливіших чинників глобальної, національної, регіональної та локальної безпеки. Так, наприклад, на викиди об'єктів цивільної авіації (ЦА) аеропорту Атланта припадає 0,4 % оксидів азоту, 0,3 % вуглеводнів, 0,2 % оксиду вуглецю від загальної кількості викидів на даному рівні. У регіональному масштабі складова авіаційного транспорту зростає, а у локальному – домінує (рис. 1.1) [1]

Забруднення атмосферного повітря (АП) при здійсненні експлуатаційних операцій авіатранспортними системами є важливою екологічною проблемою.

Проблема регіонального забруднення є актуальною для України у зв'язку із наближенням житлових районів до аеропортів (зокрема для аеропортів Київ (Жуляни), Львів, Одеса, Харків, Запоріжжя). Важливість даної екологічної проблеми визначається несприятливим впливом викидів джерел на стан атмосферного повітря та здоров'я мешканців довколишніх районів аеропорту.

Забруднення повітря аеропорту обумовлено експлуатацією пересувних і стаціонарних джерел, викиди яких є продуктами згорання та випаровування палива, а саме – домішки оксиду азоту (NO_x), діоксиду вуглецю (CO_2), оксиду вуглецю (CO), вуглеводнів (CH), бензолу, кіптяви та зважених часток (ЗЧ_{10}) [2].

Проведені роботи з інвентаризації джерел забруднення повітря в аеропортах України [3, 4], табл. 1.1, табл.1.2 та Німеччини [5], табл. 1.2, показали, що основними джерелами викиду забруднюючих речовин (ЗР) є:

- повітряне судно (ПС);

- спецавтотранспорт;
- пасажирський автотранспорт;
- сховища паливо-мастильних матеріалів (ПММ);
- бойлерні та котельні установки;
- технологічні ділянки авіаційно-технічної бази аеропорту.

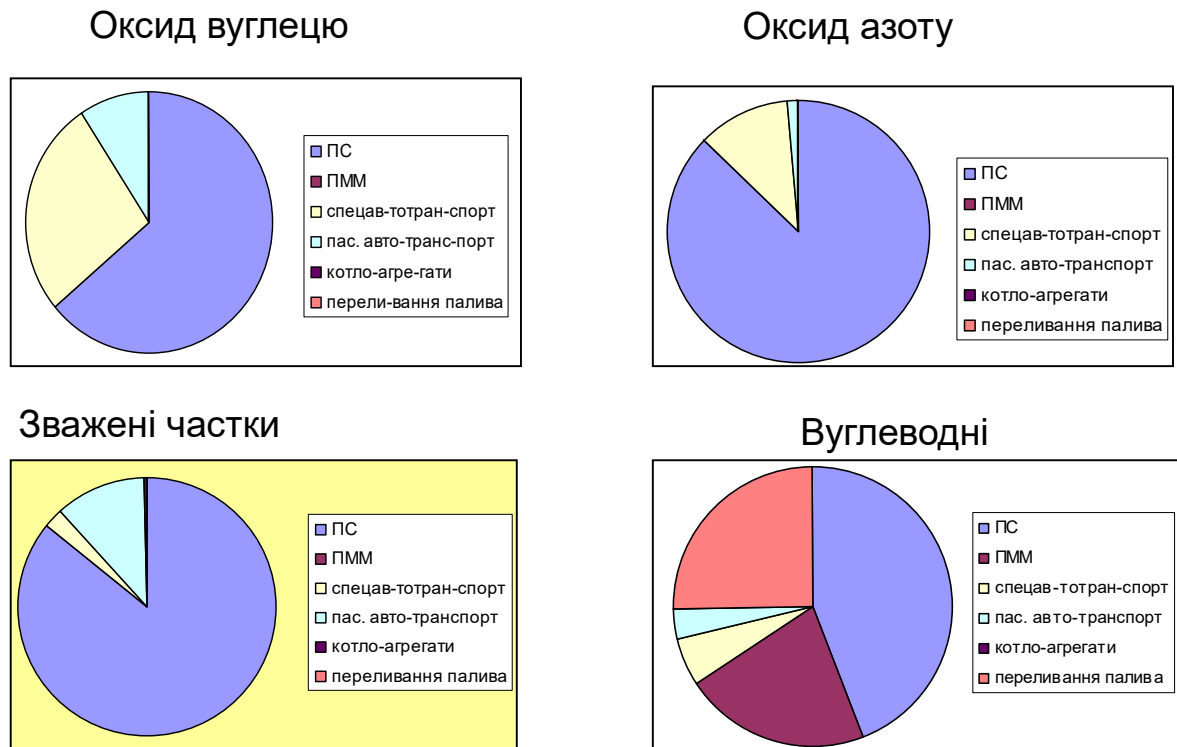


Рис.1.1 – Результати інвентаризації стаціонарних і пересувних джерел викидів аеропорту України (локальний вплив)

Відповідно до представлених результатів інвентаризації джерел викидів забруднюючих речовин, домінантним джерелом забруднення атмосферного повітря у межах аеропорту є повітряне судно. Друга позиція за інтенсивністю викидів припадає на спецавтотранспорт та автотранспорт, третя – на стаціонарні джерела забруднення.

До війни актуальність зазначеної екологічної проблеми була обумовлена зростанням обсягів міжнародних та внутрішніх авіаційних перевезень на глобальному (прогноз ІКАО становив 5-6 %) та національному рівнях.

Таблиця 1.1 – Результати інвентаризації джерел забруднення
в головних аеропортах Європи

Викид кг	Повітряне судно	Допоміжне обладнання			Авто транспорт	Стационарні джерела		
		ВСУ	НДО	Загалом:	(паркування та проїзд)	ПММ	Котельня	Загалом
CO	228767	7877	6588	14465	55912	0	7200	7200
HC	41787	4098	1605	5703	24556	112	362	474
NO _x	333744	4971	20114	25085	12089	0	34800	34800
SO _x	115009	0	0	0	747	0	70200	70200
PM ₁₀	2526	0	1019	1019	26	0	1440	1440
PM _{2.5}	2526	0	0	0	0	0	360	360
Fuel	23001720	621045	406396	1027441	1758711	0	0	0

Таблиця 1.2 – Результати інвентаризації джерел забруднення аеропорту України з інтенсивністю 50 тис. зльотів-посадок на рік

Вид ЗР	Джерела (тонн/рік)							У цілому (тонн/рік)
	ПС	сховища ПММ		спецавтотранспорт	пас. автотранспорт	котлоагрегати	переливання палива	
CO	1329	-	-	573	189	0,31	-	2092
NO _x	1005	-	-	128	16	1,57	-	1150
CH	261	0,81	126	33	21	0,08	149	591
SO _x	86	-	-	0,45	2	0,01	-	88
ЗЧ ₁₀	37	-	-	1,03	5	0,08	-	43

На сьогодні зазначена проблема залишається актуальною, оскільки аеропорти відносяться до об'єктів критичної інфраструктури, а військові дії РФ залишають небезпеку регіональної техногенної аварії наслідки якої можуть спричинити вкрай високі рівні забруднення атмосферного повітря. Серед об'єктів інфраструктури особливе місце займають склади ПММ, руйнування яких може стати техногенною катастрофою з серйозними наслідками для довкілля, зокрема в частині погіршення місцевої якості

повітря. Аналіз інфраструктури аеропортів України також вказує, що локація складу ПММ переважно знаходиться на околицях аеродрому та поблизу сельбищних районів, що підвищує ризики надзвичайної ситуації для мешканців довколишніх районів, особливо сьогодні.

1.2 Аналіз несприятливого впливу процесів, характерних для експлуатації об'єктів цивільної авіації, на стан здоров'я людини

Несприятливий вплив характеризується змінами у навколишньому природному середовищі, включаючи зміни клімату, спричиняючи значні шкідливі наслідки як для здоров'я людей, так і для структури, відновлюючої здібності та продуктивності природних екосистем. Безумовно, внесені «негативні зміни» у атмосферному повітря під час експлуатації стаціонарних та пересувних джерел викидів позначаються на стані здоров'я персоналу, пасажирів та мешканців довколишніх районів аеропорту.

Забруднення атмосферного повітря може стати причиною низки негативних наслідків для здоров'я населення – від короткочасного запалення у дихальних шляхах і порушення функції легенів до зростання захворюваності та смертності [6, 7].

Спалювання та зберігання палива для експлуатації авіатранспорту призводить до локального та регіонального забруднення АП у межах аеропорту. Склад вихлопних газів за пріоритетними домішками ЗР [8] доцільно розподілити на дві групи:

- Продукти повного згорання палива (діоксид вуглецю (CO_2) та пари води, оксиди азоту (NO_x));
- Продукти неповного згорання палива (оксид вуглецю (CO), вуглеводні (CH), оксиди азоту (NO_x), сажа та зважені частки (PM). Оксиди азоту (NO_x) утворюються внаслідок взаємодії атмосферного кисню з азотом при високій температурі, яка є обов'язковою умовою під час експлуатації АД у максимальному режимі [9].

Склад забруднюючих речовин залежить від виду палива, засобів його спалювання та режимів експлуатації.

Вуглеводні поділяються на насичені (аліфатичні), і ненасичені, в молекулах яких є кратні зв'язки — подвійні і потрійні. Насичені вуглеводні метанового ряду є основною складовою частиною нафти і природного газу.

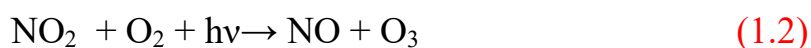
Оксиди азоту, NOx та зважені частки (PM) спричиняють виникнення фотохімічного смогу та туману [9]. Ці домішки при попаданні до організму людини призводять до порушення окислювально-відновного балансу в дихальній системі. В результаті порушується рівновага між процесом утворення кисню і здатністю біологічної системи знешкоджувати реактивні проміжні продукти. Порушення окислювально-відновного балансу можуть стати причиною токсичного отруєння, внаслідок породження пероксиду та вільних радикалів, які спричиняють пошкодження усіх компонентів клітини, в тому числі протеїнів, ліпідів та ДНК [10].

Джерелом діоксиду азоту є процеси спалювання палива, у яких повітря виступає оксидантом [9, 10]:



NO₂ є важливим реагентом у атмосферних процесах, який призводить до утворення озону та інших високоактивних продуктів реакції – азотна кислота, сірчана кислота, сульфати та органічні аерозолі (останні можна віднести до ЗЧ, з діаметром 2,5–10 мкм).

Важлива фотохімічна реакція:



Ризик для здоров'я населення від дії діоксиду азоту зумовлений як безпосередньо дією NO_x, так і продуктами його реакцій – O₃ та ЗЧ.

Короткотривалі концентрації діоксиду азоту призводять до запалення дихальних шляхів, і згідно із дослідженнями, гранична величина для цього типу дії не повинна перевищувати 200 мкг/м³. Довготривалі концентрації діоксиду азоту зумовлюють порушення легеневої функції та респіраторних симптомів [11, 12].

Зважені частки (ЗЧ) – це комплексна суміш рідких та твердих часток органічного та неорганічного походження, зважена у повітрі. Основні компоненти зважених часток – це сульфати, нітрати, солі амонія, хлорид натрію, вуглець, мінеральний пил та вода. Головною характеристикою зважених речовин є аеродинамічний діаметр. Розрізняють ЗЧ₁₀ (частки з діаметром 10 мкм) та ЗЧ_{2.5} (відповідно у діаметрі – 2,5 мкм) [13].

Згідно з даними ВОЗ, ЗЧ здійснюють істотний вплив на здоров'я населення [11, 12]. Збільшення вмісту ЗЧ в АП спричиняє зростання захворюваності та смертності населення у середньому на 15-20% порівняно з чистими населеними пунктами.

Хронічна дія ЗЧ сприяє ризику виникнення серцево-судинних захворювань, у тому числі раку легенів. Короткотривала дія підвищених концентрацій є причиною хвороб серця, наприклад, кардіосклерозу. Характер та наслідки дії ЗЧ на дихальну та серцево-судинну системи людини залежать від аеродинамічного діаметру цих часток, рис. 1.3 [14]

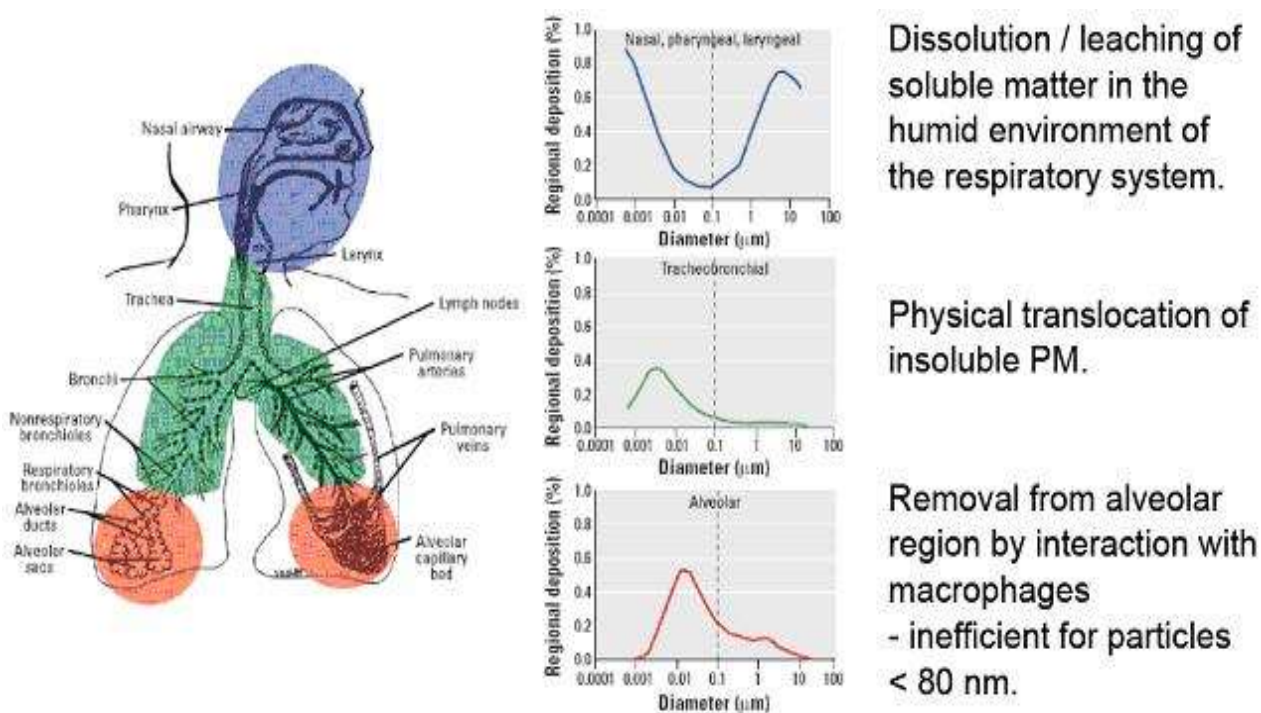


Рис.1.3 – Наслідки дії ЗЧ на дихальну та серцево-судинну системи людини

Розмір зважених часток є головним визначником місця осадження часток у дихальному тракті людини:

- Частиці з розміром більше, ніж 10 мкм у діаметрі, фільтруються у носі та глотці і не несуть загрози здоров'ю людини;
- Частиці з діаметром менше, ніж 2,5 мкм осідають у легенях та бронхах;
- Частиці з діаметром менше, ніж 10 мкм проникають у зону газообміну в легенях;

Дуже маленькі частки, менше, ніж 100 нанометрів у діаметрі можуть потрапляти через легені та мембрани клітин до системи кровообігу та чинити вплив на інші органи.

Так вплив зважених часток, розміром менше, ніж 2,5 мкм, зумовлюють закупорку артерій, судинні захворювання та атеросклероз, погіршення функціонування серцево-судинної системи.

Відповідно до європейських досліджень, середня тривалість життя населення скорочується на 8,6 місяців унаслідок дії ЗЧ 2,5 на організм людини.

Дрібні частки з діаметром менше 100 нанометрів є причиною істотного погіршення функціонування системи кровообігу. Ці дрібні частки можуть потрапляти до мозку та сприяти розвитку хвороби Альцгеймера [2, 14].

Основне джерело пріоритетних забруднюючих речовин (озон, оксиди азоту та зважені частки) – автотранспорт (експлуатація дизельних двигунів) та авіаційний транспорт (експлуатація авіадвигунів та ДСУ), рис. 1.4 [15].

Забруднення атмосферного повітря викидами ЗР, у першу чергу, впливає на рівні захворюваності населення. У роботах [13, 15, 16] позначені кількісні залежності захворюваності населення від ступеня вираженості чинника навколишнього природного середовища за їх ізольованої та сумісної дії.

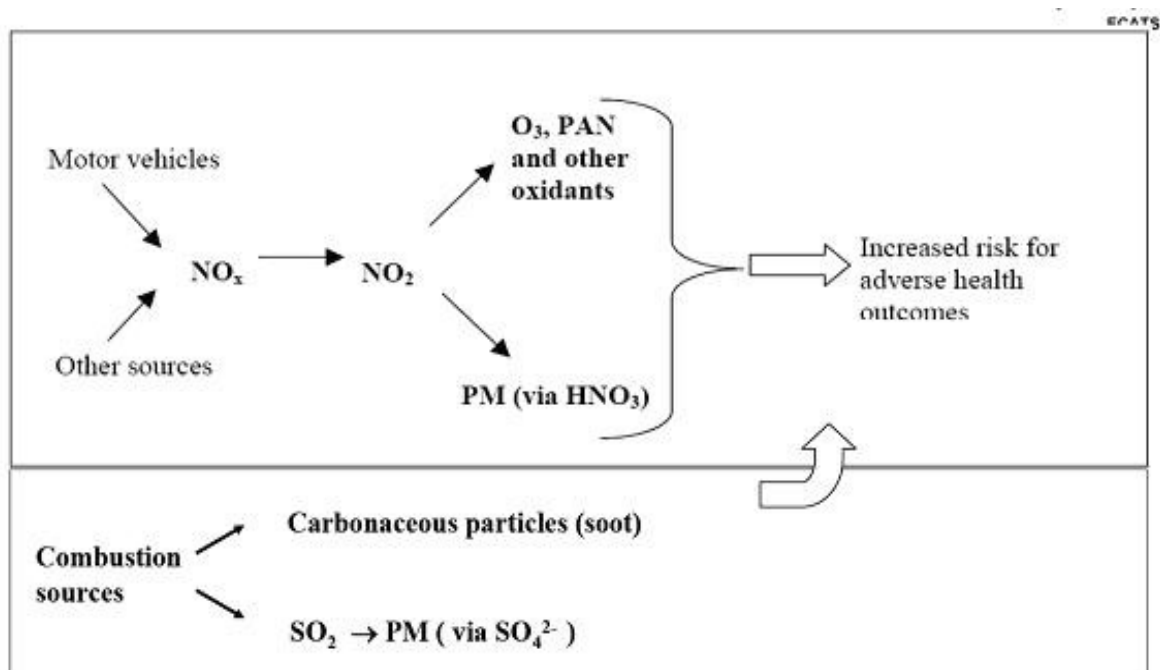


Рис.1.4 – Основні джерела викидів діоксиду азоту, озону та зваженими частками у атмосферному повітрі

Для оцінки небезпеки атмосферних забруднень та встановлення їх граничних концентрацій для різних періодів дії використовується залежність між концентрацією речовини та часом виявлення біологічного ефекту, наприклад, у вигляді [16] :

$$\lg C = \lg C_0 - \operatorname{tg}\alpha \lg T, \quad (1.3)$$

де C – концентрація, що викликає стандартний ефект у процесі дії протягом часу T ;

C_0 – концентрація, яка викликає той самий ефект упродовж часу, що дорівнює прийнятій одиниці вимірювання;

α – кут нахилу прямої до вісі часу (що визначає тривалість дії забруднення).

Ступінь реальної небезпеки якогось чинника НПС на здоров'я, самопочуття та життєдіяльність людини залежить від:

- Агресивності чинника (наприклад, токсичності для хімічного забруднення);
- Розповсюдження у сільбищній зоні;

- Рівня виявленості;
- Тривалості дії.

Чим більше значення кожної із складових, тим вищий ступінь небезпеки чинника здоров'я населення. Тому критерії оцінки несприятливої дії авіатранспортних процесів повинні враховувати усі перелічені особливості.

1.3 Нормування якості атмосферного повітря в межах аеродрому цивільної авіації

Чинне природоохоронне законодавство України оперує низкою гігієнічних нормативів для регулювання якості атмосферного повітря та зменшення відповідних наслідків погіршення здоров'я населення (ст. 5, 6, 9 Закону України «Про охорону атмосферного повітря» [17]):

1. Гранично-допустима концентрація (ГДК) ЗР:

- а. Максимально-разова, інтервал усереднення – 20 хвилин;
- б. Середньодобова, інтервал усереднення – 24 години;
- с. Нормування у повітрі робочої зони, інтервал усереднення – 8 годин.

2. 0,8 ГДК ЗР у місцях масового відпочинку населення з урахуванням комбінованої дії речовин або продуктів їх трансформації в атмосфері.

Аналізуючи характер та період експозиції забруднення атомферного повітря внаслідок згорання палива, максимально-разова (20 хвилин) та середньодобова (24 години) ГДК буде використовуватися як основний санітарно-гігієнічний норматив оцінки якості атмосферного повітря:

$$q = \frac{1}{T} \times \int Q(t) \times \psi(x, y, z, t) \times dt, \quad (1.4)$$

де ψ – функція розподілу ЗР у часі та просторі в результаті дії різних механізмів переносу в приземному шарі атмосфери;

T – період осереднення концентрації (20 хв. та 24 год.).

В даній роботі максимально-разова концентрація буде розглядатися в якості базового критерію оцінки забруднення повітря аеропорту. Максимально-разова концентрація використовується в нормативній базі України для визначення лімітів викиду стаціонарних джерел забруднення, для визначення розмірів санітарно-захисної зони авіапідприємства та розробки конкретних заходів щодо зниження рівнів забруднення атмосферного повітря. В Україні забруднення атмосферного повітря при експлуатації об'єктів ЦА контролюється Законом України «Про охорону атмосферного повітря» [17].

Таблиця 1.3 – Системи стандартів відносно якості атмосферного повітря в Європі, Україні та Єгипті

Забруднююча речовина	Період осереднення	Гранично-допустимі концентрації, мг/м ³			
		WHO	/EU	Egypt	Poland Ukraine
Діоксид сірки, SO ₂	1 hour	500 (10 min)	350	350	500
	24 hours	125	125	150	50
	Year	50	80	60	
Діоксид азоту, NO ₂	1 hour	200	200	400	200
	24 hours	-		150	40
	Year	40-50	40		10
Озон (O ₃)	1 hour	150-200		200	100
	8 hours	120	120	120	
Оксид вуглецю (CO)	1 hour	30 000		30 000	5000
	8 hours	10 000	10 000	10 000	3000
Пил (BS)	24 hours	50 *	80	150	150
	Year	-		60	50
Зважені частки	24 hours	-		230	

В країнах ЄС для цієї мети використовується документ Directive 2008/80/EC від 21.05.2008 (табл. 3.1), [18]. Відповідно до даних табл. 3.1 [18], у країнах ЄС жорстко контролюють викид NO₂ (допустима у середньому на рік концентрація становить 40 мкг/м³, а годинна – 200 мкг/м³). У США нормативи для NO₂ не такі

жорсткі і допустима концентрація у середньому на рік становить 100 мкг/м³, табл. 1 -3 [19]. Однак у США ключовою проблемою якості АП є викид ЗЧ.

Таблиця 1.5 – Системи стандартів відносно якості атмосферного повітря у різних країнах світу

Країна/ Організація	ЗЧ, мкг/м ³		SO ₂ , мкг/м ³			NO ₂ , мкг/м ³			CO, мкг/м ³		Озон, мкг/м ³	
	24 год.	1 рік	1 год.	24 год.	1 рік	1 год.	24 год.	1 рік	1 год.	8 год.	1 год.	8 год.
ВОЗ				125		200		40- 50	30	10		
ЄС	50	40	350	125	20	200		40		10		
Австралія	50		520	200	50	220		50		10	200	
Бразилія	150	50		365	80	320		100	40	10	160	
Канада			900	300	60	400	200	100	35	15	160	50
Китай	150	100	500	150	50	150	100	50	10		160	
Індія	100	60		80	60		80	60	4	2		
Японія			260	100		75- 110			12	23	120	
Південна Америка	75	40		125	50	200		40	30	10	200	
Швейцарія (LRV)	50	20		100	30		80	30			120	
США (NAAQS)	150	50		360	80			100	40	10	240	

Обґрунтування санітарно-захисної зони аерпорту умов хімічного забруднення атмосферного повітря визначаються згідно з вимогами **законів України**:

- Повітряний Кодекс України, Відомості ВВР зі змінами, 2011, № 48-49, ст.536 <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3393-17#Text> [20]

- ЗУ «Про охорону навколишнього природного середовища», 25.06.1991 <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12#Text> [21]

- ЗУ «Про охорону атмосферного повітря», 16.10.1992 <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2707-12#Text> [23]

-ЗУ «Про оцінку впливу на довкілля» № 2059-19 від 23.05.2017
<https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/ru/2059-19/ed20201201/sp:max15> [24]

-ЗУ «Про регулювання містобудівної діяльності» № 3038-VI від 17.02.2011
<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3038-17> [25]

у відповідності до діючих норм України:

– ДСП № 173 Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів, Затверджено наказом Міністерства охорони здоров'я України від 19 червня 1996 р. N 173 [26];

– ПКМУ від 13 грудня 2001 р. N 1655 « Про Порядок ведення державного обліку в галузі охорони атмосферного повітря»
<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1655-2001> [27];

– ПКМУ від 29 листопада 2001 р. N 1598 Про затвердження переліку найбільш поширених і небезпечних забруднюючих речовин, викиди яких в атмосферне повітря підлягають регулюванню
<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1598-2001> [28];

– Наказ Міністерства охорони навколишнього природного середовища України від 14.01.2020 № 52 «Про затвердження гігієнічних регламентів допустимого вмісту хімічних і біологічних речовин в атмосферному повітрі населених місць» [29];

– Методика расчета концентрации в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. ОНД-86, 1987 [30].

Забруднення атмосферного повітря при здійсненні експлуатаційних операцій авіатранспортними системами також регламентується міжнародними вимогами та рекомендаціями:

– Annex 16 to the Convention on International Civil Aviation. Vol. II: Aircraft engine emissions. - Montreal: ICAO, Vol. II, 2017 [31];

– Annex 16 to the Convention on International Civil Aviation. Vol. III: Aeroplane CO2 emissions. - Montreal: ICAO, Vol. III, 2017 [32];

- ICAO Doc 9501. Environmental Technical Manual. Volume III — Procedures for the CO2 Emissions Certification of Aeroplanes First Edition, 2018 [33];
- ICAO Doc 9646-AN/943. Engine Exhaust Emissions Databank [34];
- Annex 16 to the Convention on International Civil Aviation. Vol. IV: Aeroplane CO2 emissions. - Montreal: ICAO, Vol. III, 2017 [35];
- ICAO Circular 303. Operational opportunities to minimize fuel use and reduce emissions [36]
- ICAO Doc 9184. Airport Planning Manual. Land Use and Environment Control. Third Edition. Part2, 2002 [21];
- Directive 2008/50/EC of the European Parliament and the council of 21 May 2008 on ambient air quality and cleaner air for Europe [18];
- ICAO Circular 351. Community Engagement for Aviation Environmental Management, 2017 [37].

1.4 Контроль та регулювання місцевої якості атмосферного повітря

Нормування забруднення атмосферного повітря при здійсненні експлуатаційних операцій авіатранспортними системами виконується шляхом впровадження наступних підходів:

- **санітарно-гігієнічний контроль** з метою оцінки рівнів забруднення атмосферного повітря на границі санітарно-захисної зони аеропорту та на приаеродромних територіях;
- **заходи** (технічні, експлуатаційні, економічні та інші) з метою зниження рівня забруднення атмосферного повітря в районі аеропорту (ст.84 X розділ «Повітряний Кодекс України» [20]);
- **просторове зонування** території навколо аеропорту: встановлення санітарно-захисної зони навколо аеропорту та підтвердження її розмірів розрахунками та вимірюваннями (ст.84 X розділ «Повітряний Кодекс України» [20]).

Виконання наведених підходів здійснюється на підставі аналізу інформації, одержаної шляхом інструментальних замірів (*моніторинг*) вмісту шкідливих домішок на стаціонарних, маршрутних, підфакельних постах спостереження та прогнозних розрахунків (*моделювання*) очікуваного рівня забруднення атмосферного повітря, що виконані згідно з діючими нормативно-методичними документами.

Розв'язання наведених вище проблем зводиться до необхідності організації та наявності системи моніторингу в межах та на прилеглих територіях аеропорту.

Екологічний моніторинг – це комплексна система регламентованих періодичних спостережень, оцінки та прогнозу змін стану навколишнього природного середовища для виявлення негативних змін і розробки рекомендацій щодо їх усунення або ослаблення.

Система моніторингу є першим етапом у стратегії регулювання якості навколишнє природне середовище, оскільки забезпечує отримання інформації для розробки, обґрунтування та прийняття рішення в напрямку регламентації антропогенної діяльності й упровадження заходів із зниження несприятливого впливу на навколишнє природне середовище та здоров'я населення .

Таким чином, організація системи моніторингу в межах аеропорту повинна бути зорієнтована відповідно до встановлених пріоритетів у регулюванні якості атмосферного повітря та спрямована на отримання достовірної, об'єктивної та своєчасної інформації щодо рівня забруднення атмосферного повітря.

Отримана та задіяна інформація повинна містити 3 блоки, рис. 1.10:

- результати спостереження за джерелами викидів ЗР в межах аеропорту та чинниками несприятливого впливу на атмосферне повітря;
- результати аналізу та оцінки фактичного стану атмосферного повітря в межах аеропорту;
- результати прогнозу показників стану атмосферного повітря в межах аеропорту.

Цільність, об'єктивність та достовірність отриманої інформації щодо рівнів забруднення атмосферного повітря в межах аеропорту забезпечують інструментальна та обчислювальна системи моніторингу, які доповнюють одна одну, рис. 1.5.



Рис. 1.5 – Блок-схема системи моніторингу

Інструментальна система моніторингу забезпечує вимірювання реального забруднення атмосферного повітря і відповідну оцінку впливу стаціонарних та пересувних джерел викидів на якість атмосферного повітря в межах аеропорту та на прилеглих територіях.

Обчислювальна система моніторингу забезпечує розрахунок поля миттєвих та осереднених концентрацій забруднюючих речовин в межах території аеропорту і на прилеглих територіях, що утворюються в результаті експлуатаційних операцій основних задіяних джерел викидів.

Таким чином, наявність розглянутої схеми системи моніторингу в межах аеропорту забезпечує вихідну інформацію для реалізації наступних етапів стратегії регулювання якості атмосферного повітря:

- дотримання встановлених стандартів якості атомсферного повітря у межах та на прилеглих територіях аеропорту – санітарно-гігієнічний контроль повітря;

- прийняття рішень та розробка рекомендацій для зниження рівня забруднення атмосферного повітря в межах та на прилеглих територіях аеропорту;

- доведення інформації до відповідних органів та широкої громадськості.

Аналіз методів, засобів та заходів щодо контролю якості повітря атмосферного повітря в межах провідних аеропортів Європи вказує на наявність постійного інструментального моніторингу в аеропортах Франкфурт-на-Майні, Цюрих та Хітроу.

Так, у міжнародному аеропорті Франкфурт-на-Майні постійний моніторинг забруднення атмосферного повітря здійснюється двома вимірювальними станціями (Sommi 1, Sommi 2) на території аеропорту та додатковою станцією, яка розташована поблизу аеропорту (м. Кельстербах) і спрямована на довгострокове вимірювання концентрації оксидів азоту, рис. 1.12 [38, 39, 40]. З аналізу даних річного звіту про санітарний стан повітря в аеропорті Франкфурт-на-Майні [38, 39] за результатами вимірювання на зазначених станціях моніторингу було виявлено перевищення концентрацій NO_2 на станції Sommi 2 встановленого показника якості, табл. 1.6.

Результати порівняння середньорічних концентрацій NO_x на обох станціях свідчать про те, що на станції Sommi 2 було зареєстровано відносно вищу концентрацію NO_2 , а стосовно NO різниця є меншою. Висока концентрація NO_2 обумовлена місцем розташування станції Sommi 2, а саме – поблизу площадки для обслуговування повітряних суден (V 128) та дороги з інтенсивним рухом типового для аеропорту транспорту. Південніше від неї проходить руліжна доріжка (рис. 1.6) [40].

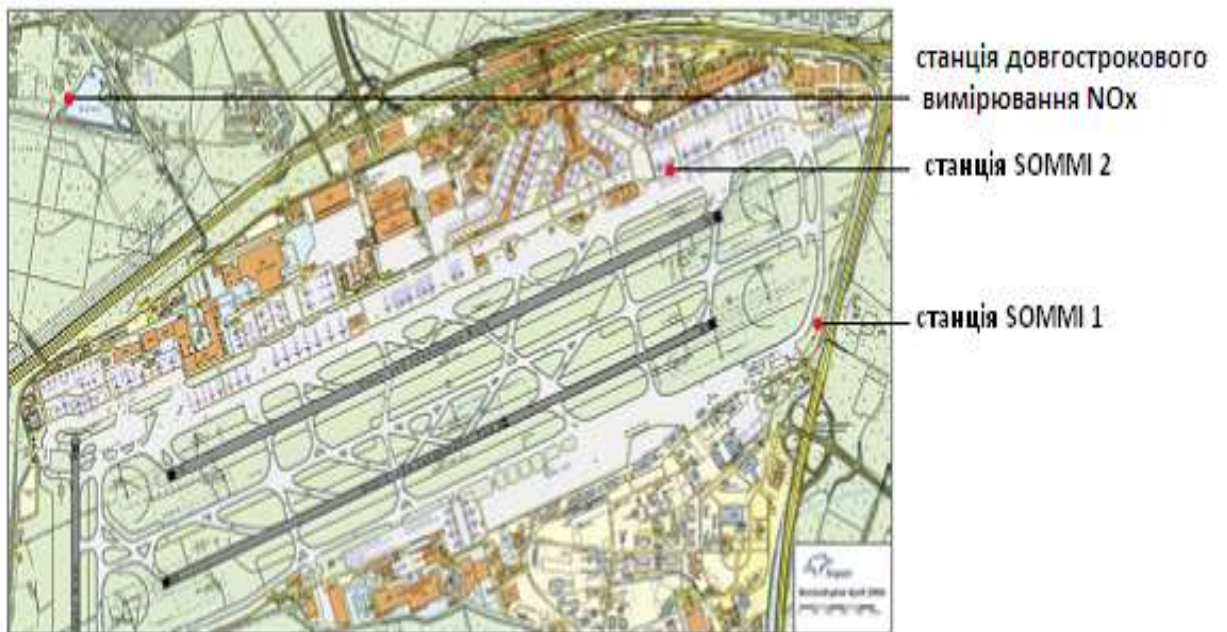


Рис. 1.6 – Розміщення станцій моніторингу забруднення атмосферного повітря у межах та на прилеглих територіях міжнародного аеропорту Франкфурт-на-Майні

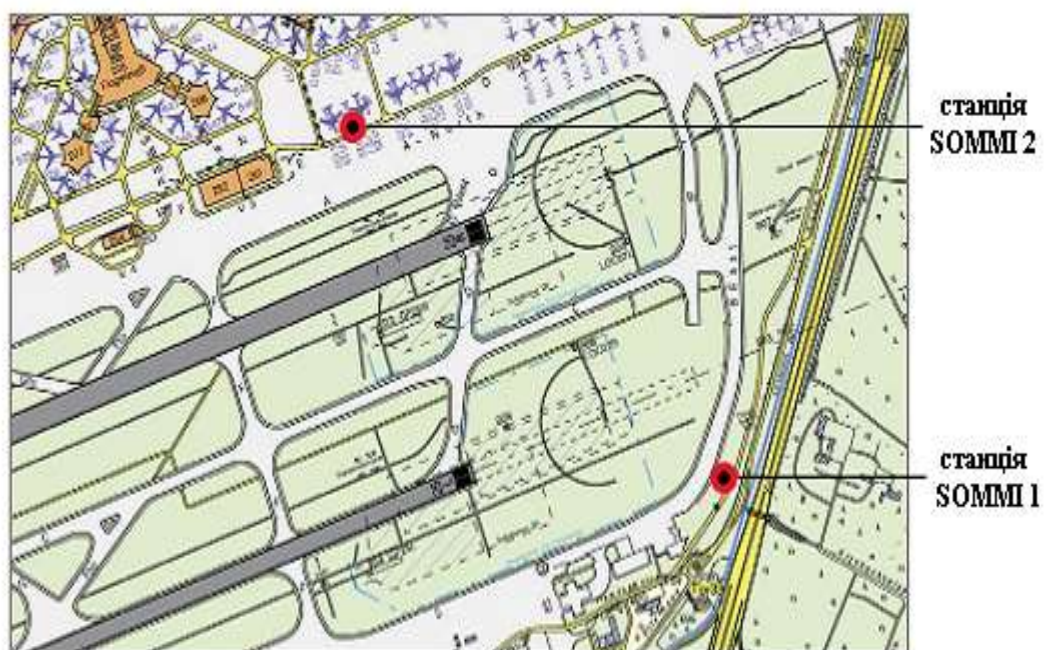


Рис. 1.7 – Розміщення станцій моніторингу забруднення повітря у межах та на прилеглих територіях міжнародного аеропорту Франкфурт-на-Майні

З огляду на це, на показники вимірювань мусили впливати викиди чисельних транспортних засобів, які перебували поруч зі станцією Sommi 2: техніка для

обслуговування ПС на пероні, спецавтотранспорт, ПС (запуск та прогрівання АД, етап руління) та допоміжна силова установка (ДСУ) [38, 39].

А на показники вимірювань на станції Sommi 1 впливають викиди автотранспорту від автобану А5, зокрема на концентрації оксидів вуглецю.

Таблиця 1.6 – Середньорічні показники у порівнянні з показниками якості повітря за результатами вимірювання на відповідних станціях Sommi 1, Sommi 2 у період з 1 лютого 2005 по 31 січня 2006 року

№	ЗР	Станція	Концентрація, ЗР мкг/м ³ (мг/м ³ для СО)	Норматив якості АП мкг/м ³ (мг/м ³ для СО)
1	NO	Sommi 1	43	200
		Sommi 2	46	
		Кельстербах	14	
2	NO₂	Sommi 1	46	52 ²
		Sommi 2	57	
		Кельстербах	32	
3	SO₂	Sommi 1	6	50
		Sommi 2	8	
4	CO	Sommi 1	0,4	-
		Sommi 2	0,4	
5	O₃	Sommi 1	33	-
		Sommi 2	30	
6	PM₁₀	Sommi 1	29	40
		Sommi 2	31	
7	Бензол	Sommi 1	0,8	10
		Sommi 2	1,4	
8	Толуол	Sommi 1	2,0	30
		Sommi 2	2,4	

Середньорічні концентрації ароматичних вуглеводнів (бензол, толуол), рівень яких є в цілому низьким, є дещо вищими на станції SOMMI 2, що можна пояснити неповним згоранням палива під час експлуатації автомобілів і поїтряних суден [38,39,40].

Таким чином, розглянута система інструментального моніторингу здійснює вимірювання реального загального забруднення атмосферного повітря внаслідок викидів усіх джерел викидів забруднюючих речовин в

межах та на прилеглих територіях аеропорту, а також спостерігає тенденцію довгострокового забруднення оксидом азоту.

В аеропорті Цюрих система інструментального моніторингу регулюється місцевими органами виконавчої влади, згідно з розробленою концепцією моніторингу атмосферного повітря (травень, 2001) [41,42].

Вимірювання концентрацій забруднюючих речовин у атмосферному повітрі здійснюється на станціях моніторингу, які об'єднані та розміщені відповідно до інтенсивності викиду потенційного джерела забруднення атмосферного повітря.

Система інструментального моніторингу включає (рис. 1.8) [41, 42]:

- станції вимірювання забруднення атмосферного повітря від експлуатаційних операцій аеропорту, включаючи викиди повітряних суден під час злітно-посадкового циклу;
- станції вимірювання забруднення атмосферного повітря від інших джерел викидів;
- станції вимірювання забруднення атмосферного повітря від автотранспорту на прилеглих територіях аеропорту;
- станції вимірювання фонового забруднення.

На прилеглих територіях аеропорту Хітроу контроль якості атомсферного повітря здійснюється 5 станціями вимірювання, які були встановлені у 2002 році місцевими органами виконавчої влади, рис. 1.9 [43].

Впровадження зазначеної системи інструментального моніторингу забезпечило зниження викидів оксиду азоту до рівня встановлених стандартів EU щодо якості атмосферного повітря [43].

В аеропортах Манчестер та Хітроу використовується спектрометрична система вимірювання LIDAR, яка ідеально відповідає строгим вимогам безпеки аеропорту. Лазер наведеної системи вимірювання випускає випромінювання в ультрафіолетовому чи інфрачервоному спектрі, яке взаємодіє з аерозолями та молекулами атмосферного повітря.

Система вимірювання LIDAR, відповідно до інтенсивності зворотнього розсіювання випромінювання та періоду часу, забезпечує детальну інформацію щодо розподілення аерозолів, парів води, газів, швидкості та напрямку вітру в часі та просторі при заданому азимуті. Напрямки сканування струменів відпрацьованих газів системою вимірювання LIDAR у аеропортах Манчестер та Хітроу представлені відповідно на рис.1.10, 1.11 [44].

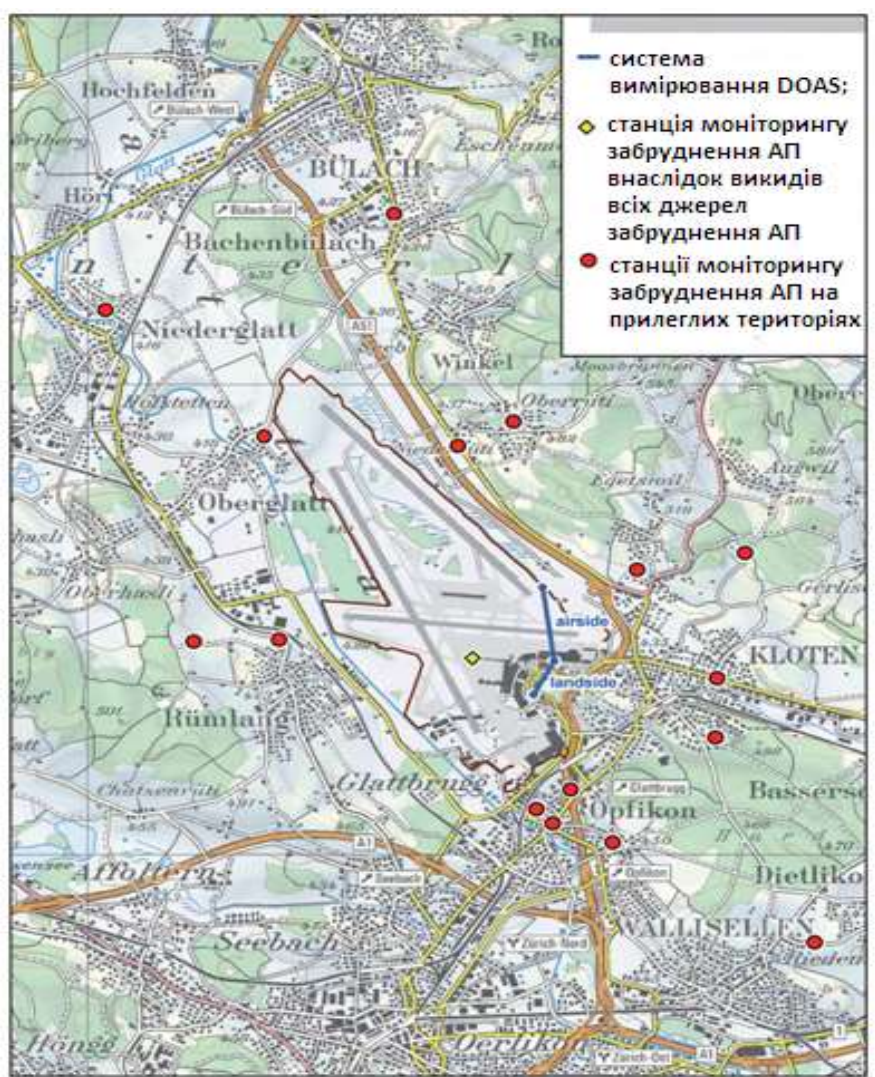


Рис. 1.8 – Інструментальний моніторинг забруднення повітря у межах та на прилеглих територіях аеропорту Цюрих

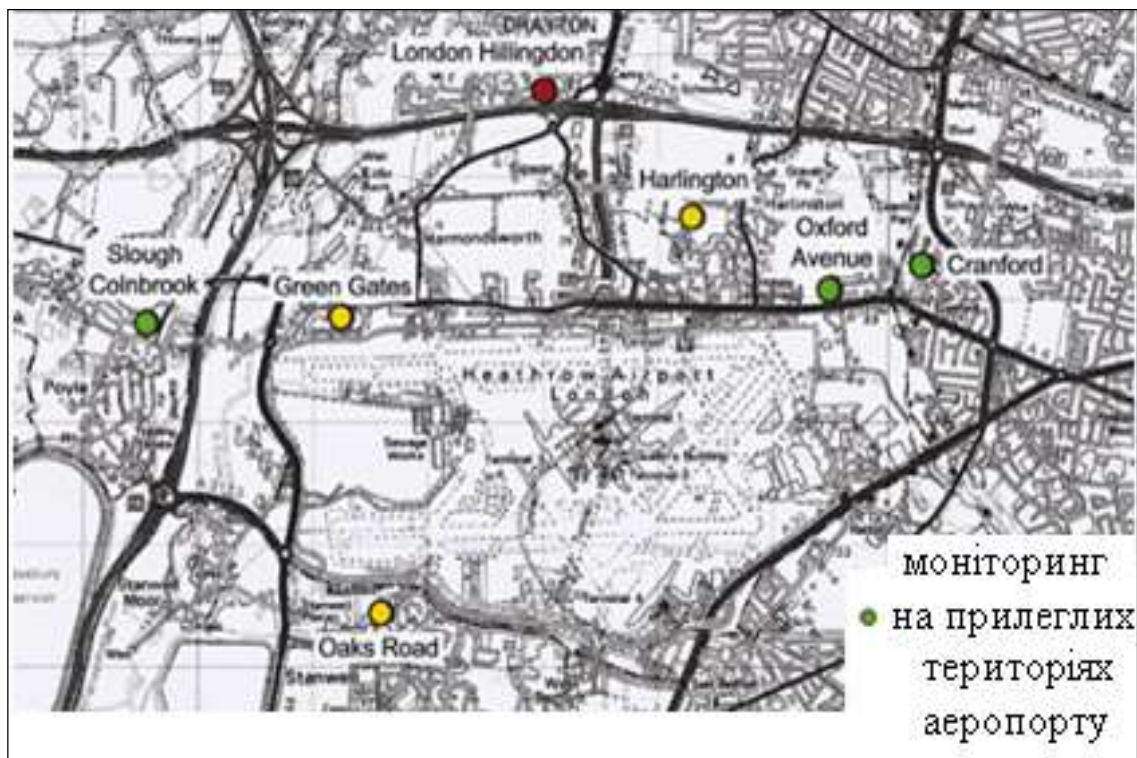


Рис. 1.9 – Інструментальний моніторинг забруднення повітря на прилеглих територіях аеропорту Хітроу

Plan of Manchester Airport with Overlay of Lidar Scanning Directions

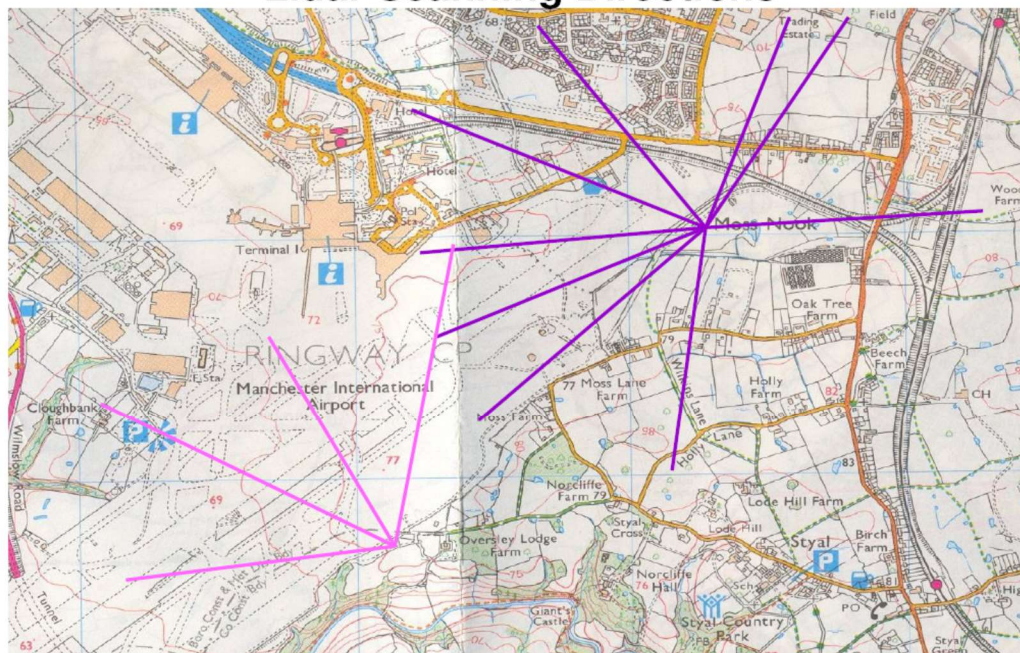


Рис. 1.10 – Напрямки сканування струменів відпрацьованих газів системою вимірювання Lidar в аеропорті Манчестер

Plan of Heathrow Airport with Overlay of Lidar Scanning Directions

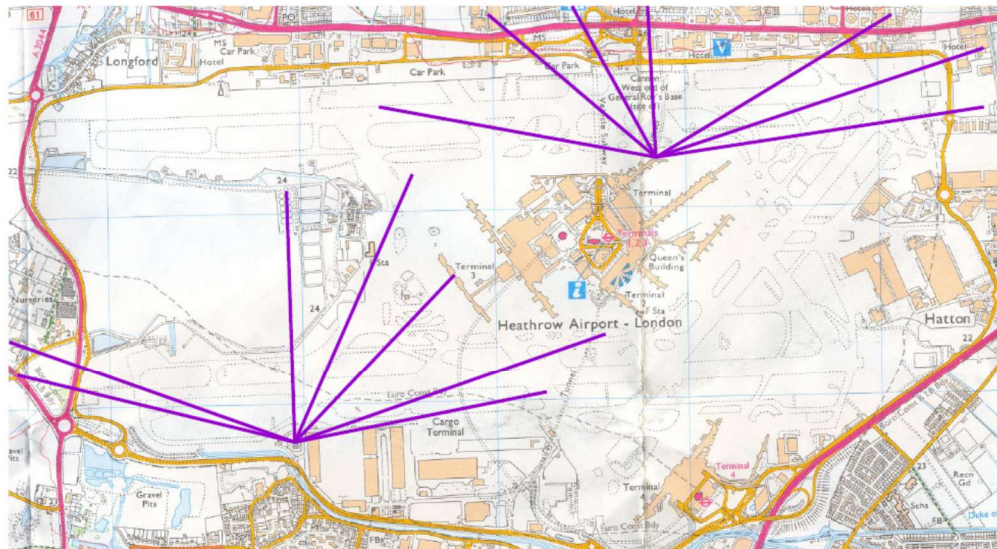


Рис. 1.11 – Напрямки сканування струменів відпрацьованих газів системою вимірювання Lidar в аеропорті Хітроу

Організація інструментального моніторингу забруднення повітря з метою виявлення та оцінки складової викидів забруднюючих речовин від стаціонарних та пересувних джерел викидів у загальне забруднення атмосферного повітря аеропорту повинна враховувати вплив інших джерел викидів у межах аеропорту.

Адже у випадку комбінування зазначених забруднень в межах аеропорту утворюються достатньо високі рівні забруднення атмосферного повітря, значно більші ніж вплив викидів окремого повітряного судна.

Рекомендована практика ICAO з регулювання місцевої якості атмосферного повітря аеропортів включає наступні етапи:

- Визначення переліку забруднюючих речовин, які необхідно моніторити.
- Розробка мережі станцій моніторингу якості повітря відповідно до місцевих потреб та специфіки аеропорту.

- Забезпечення правильного розташування станцій моніторингу відносно джерел забруднення.
- Забезпечення достовірності та точності вимірювань.
- Визначення відповідальності за збір та аналіз даних з моніторингу якості повітря.
- Підготовка регулярних звітів з моніторингу якості повітря та їх публікація.
- Розробка та реалізація планів дій з покращення якості повітря, які базуються на результатах моніторингу.

Керівництво ІСАО з контролю якості повітря аеропорту («Airport Air Quality, Doc 9889») [19] містить низку рекомендацій для організації інструментального моніторингу локального та регіонального забруднення атмосферного повітря внаслідок експлуатації всіх джерел викидів забруднюючих речовин в межах аеропорту та викидів автотранспорту навколо з метою контролю якості повітря на прилеглих сільбищних територіях, рис.1.10.

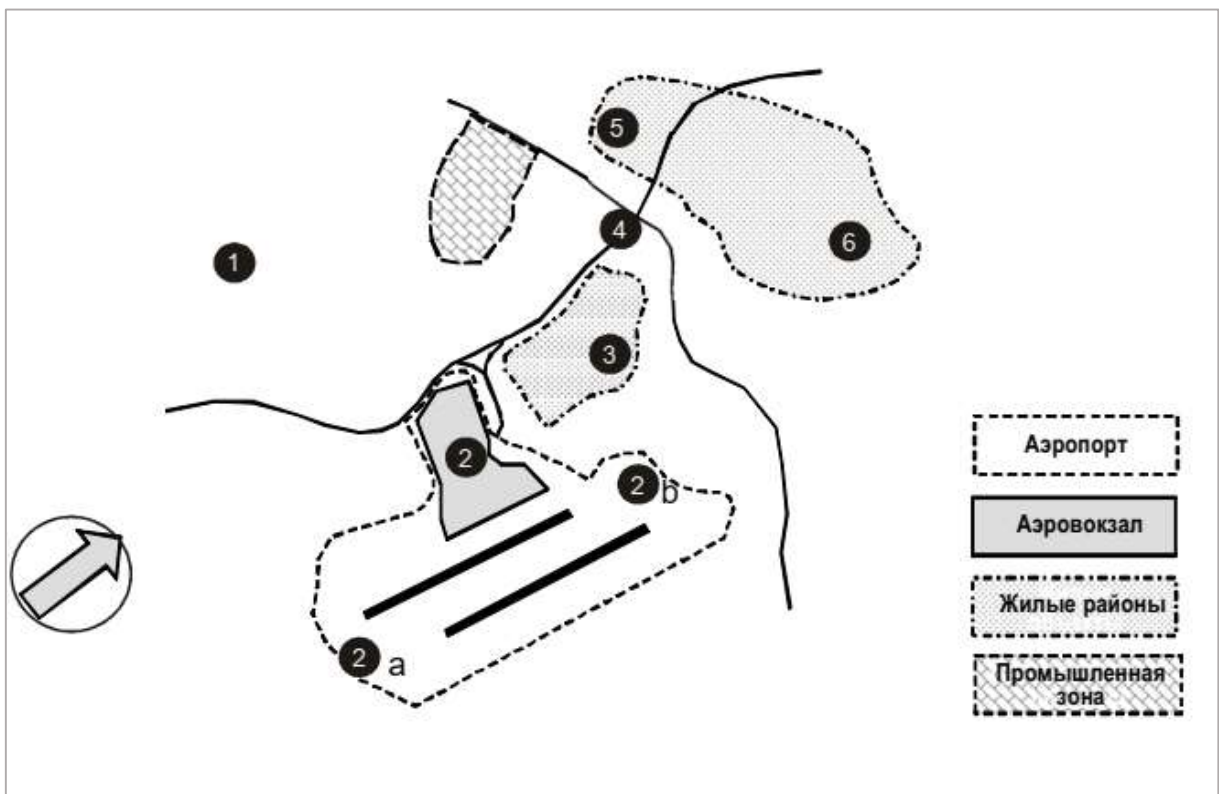


Рис. 1.10 – Загальний план вибору локацій станцій моніторингу

Згідно ICAO Doc 9889 [19] місце розміщення станцій вимірювання визначається задачами інструментального моніторингу та вимогами небезпеки аеропорту.

Наявність *стаціонарної станції* «фонового» забруднення (2) є обов'язковою для вимірювання локального забруднення атмосферного повітря внаслідок викидів всіх джерел, що експлуатуються на території аеропорту.

Пересувну станцію моніторингу (2/a/b) необхідно орієнтувати на виявлення та визначення концентрацій забруднюючих речовин у струмені газів від авіадвигунів, що чинитимуть основний вплив на місцеву якість повітря. Необхідна також наявність станції моніторингу (3) на території найближчої сельбищної зони, з урахуванням річної рози вітрів.

Для виявлення та обґрунтування складової емісії аеропорту в регіональне забруднення повітря необхідна станція фонового забруднення (1), локація якої максимально віддалена від всіх антропогенних джерел, станція моніторингу автотранспорту (4) та окремі виміри в житлових районах (5, 6).

ICAO рекомендує полум'яно-іонізаційний, абсорбційний, хемілюмінесцентний методи [19] для вимірювання концентрацій ЗР у струменях газів від турбореактивного двигуна.

Управління даними передбачає збирання даних (автоматичний або вручну), зберігання даних та передачу даних (наприклад, з дистанційно керованих станцій).

Після підготовки даних для їх належної інтерпретації може виникнути необхідність передачі та/або публікації цієї інформації. Загальнодоступні звіти або звіти для обмеженого користування можуть складатися та розповсюджуватись у друкованому або електронному вигляді.

Крім того, попередньо може бути досягнуто домовленості про передачу такої інформації повноважним органам або місцевим заінтересованим сторонам. Для забезпечення якості виміряних даних у довгостроковій

перспективі рекомендується розробити процес гарантії якості, в рамках якого розглядаються всі елементи, що впливають на якість даних.

Мета розробки та впровадження таких систем контролю якості полягає у забезпеченні необхідного рівня довіри до системи та її результатів. Функціонування наведеної комплексної системи моніторингу потребує потужних фінансових вкладень та передбачає підтримку місцевого бюджету.

Розглянуті рекомендації спрямовані на забезпечення максимальної ефективності моніторингу якості повітря в аеропортах, що дозволяє вчасно виявляти та усувати проблеми забруднення повітря та зменшувати їх вплив на довкілля.

На жаль, на сьогодні та до війни інструментальний контроль забруднення атмосферного повітря в аеропортах України відсутній взагалі через нерегульованість законодавчої бази з даного питання.

У серпні 2019 року прийнята постанова КМУ від 14 серпня 2019 р. №827 «Деякі питання здійснення державного моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря» [45] щодо затвердження Порядку здійснення державного моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря. Ця постанова спрямована на виконання Директиви 2008/50/ЄС від 21.05.2008р. [5] в частині якості атмосферного повітря.

Реалізація цієї постанови є надзвичайно амбітним завданням для України – на залишках мережі контролю забруднення атмосферного повітря, що була створена ще за радянських часів, створити європейську систему моніторингу із сучасним обладнанням і багатьма новими постами спостереження, яка є надійним інструментом розробки та реалізації природоохоронної політики.

Отже, зазначена постанова передбачає координацію суб'єктів моніторингу (Мінприроди, МОЗ, ДСНС, ДАЗВ, КМДА та виконавчі органи місцевих рад) в напрямку встановлення зон та агломерацій за ступенем забруднення атмосферного повітря, а також порядку їх контролю.

Водночас зазначена Постанова не включає вимог та рекомендацій з організації моніторингу забруднення атмосферного повітря в аеропортах та на прилеглих сельбищних територіях.

Отже, оптимальним методом для нормування забруднення атмосферного повітря внаслідок експлуатаційних операцій авіатранспортними системами є розрахунок поля концентрацій пріоритетних забруднюючих речовин (оксиди азоту, діоксид вуглецю, вуглеводнів, зважених частинок та оксид сірки) за національними (ОНД-86) та рекомендованими системами моделювання (PolEmission, ALAQS, AEDT/EDMS, LASPORT) згідно з керівництвом ICAO 9889 з контролю якості повітря аеропорту [19].

За останні 25-30 років на підставі узагальнення світового досвіду, розроблено комплекс заходів щодо скорочення негативного впливу стаціонарних та пересувних джерел на місцеву якість повітря в межах аеропорту.

Цей комплекс включає 3 категорії заходів в межах збалансованого підходу [46]: стратегічні, технічні та експлуатаційні. Сьогодні в Україні цей комплекс заходів зі зменшення рівнів локального та регіонального забруднення атмосферного повітря внаслідок експлуатації об'єктів ЦА до встановленого нормативного стану місцевої якості повітря регулюється Х розділом повітряного кодексу України (ст.83, 84) [20], «Державними санітарними правилами планування та забудови населених пунктів» № 173 [14] відповідно до ГОСТу 17 [27].

Стратегічні заходи

Стратегічні заходи визначають межі діяльності об'єктів цивільної авіації (ЦА) та включають процедуру нормування характеристик емісії АД відповідно стандартам якості атмосферного повітря. Емісії АД ЦА регламентується нормативами та умовами національного регулювання [9], а також вимогами міжнародної сертифікації емісій АД ICAO, додаток № 16, Том 2 [31]. Рішення комітету з охорони навколишнього середовища CAEP/4 (2004)

та CAEP/6 (2008) були сконцентровані на зменшенні викидів оксиду азоту [8], а CAEP/8 – на прийнятті нових стандартів на викиди NOx.

Технічні заходи

Технічні заходи включають заміну старих типів авіадвигунів новими, а також використання альтернативного палива.

Новий дизайн конструкції повітряного судна, із застосуванням сучасних матеріалів та аеродинамічної ефективності, сприяє суттєвому скороченню витрати палива (середня величина такого скорочення становила 10%) [46, 47]. Останніми десятиліттями авіадвигуни стали більш ефективними та «чистими», відповідно до вимог ICAO. Більш високі значення тиску та температури на вході до турбіни зумовлюють підвищення ККД палива [46]. Покращена повнота згорання істотно скорочує викид вуглеводнів, які не згоріли, та сажі. Комбінування удосконалення авіадвигуна та конструкцій ПС зумовлює стійке зростання ККД палива (1-2% на рік) і падіння емісій ЗР [46].

Використання альтернативного палива також впливає на рівень забруднення атмосферного повітря в районі аеропорту (локальний рівень). Одна з головних причин розробки альтернативного палива – скорочення емісії CO, CO₂ – для попередження парникового ефекту (глобальний рівень) та зменшення рівня забруднення атмосферного повітря у районі аеропорту (локальний рівень) [50].

На сьогодні запропоновано такі типи палива:

- Синтетичний гас (відсутність SO₂ у викидах, низький вміст PM);
- Біодизель (істотне скорочення емісій HC, CO та PM);
- Рідкий водень (90% скорочення NOx, відсутність CO та CO₂).

Для застосування альтернативних видів палива необхідні фундаментальні зміни дизайну повітряного судна та двигуна.

Експлуатаційні заходи

Основна мета операційних заходів – скорочення витрат палива протягом злітно-посадковий цикл, а відповідно і зниження емісій.

Розрізняють такі заходи [48, 49]:

1. *Конструкція та інфраструктура аеропорту.* Величина витрат авіаційного палива та рівень емісій суттєво залежать від розташування місць стоянки повітряного судна відносно злітно-посадкової смуги, оскільки останні визначають час та шлях руління. Наприклад, в аеропорту Цюриха нові місця стоянок повітряного судна було розташовано значно ближче до злітно-посадкової смуги, ніж попередні. Використання такого підходу в конструкції аеропорту забезпечило скорочення часу руління та зменшення емісій вуглеводнів на 13,5 т, емісій NO_x – на 15 т. Таким чином, вживання зазначених заходів сприяло загалом скороченню емісій на 1,5% за період злітно-посадковий [48].

2. *Використання закритих систем заправки паливом* повітряного судна (значне скорочення надходження летючих пар палива до атмосфери).

3. *Раціональне планування наземних операцій* повітряного судна, включно із запуском двигунів та ДСУ (вмикання останніх якомога пізніше). Оптимальний маршрут руління та мінімізування періоду очікування на зліт. Дотримання зазначених принципів у системі регулювання наземного руху ПС в аеропорті Цюриха [49] забезпечило скорочення викидів ЗР (вуглеводнів – на 4 т, оксиду вуглецю – на 33,7 т, оксидів азоту на 4,2 т) та витрати палива на 1150 т.

4. *Мінімізація злітної маси* та аеродинамічного опору літака. Зменшення злітної ваги забезпечує скорочення витрати палива та зменшення викидів.

5. *Мінімізація експлуатації головних двигунів* повітряного судна у період наземних операцій у зоні аеропорту:

5.1 Руління зі скороченою кількістю двигунів. Збільшення тяги двигуна, що працює, сприяє зростанню ККД палива, а відповідно – зменшенню емісій вуглеводнів. Згідно з літературою [48], така мінімізація у період злітно-посадкового циклу скорочує емісії вуглеводнів на 35%, рис 1.11.

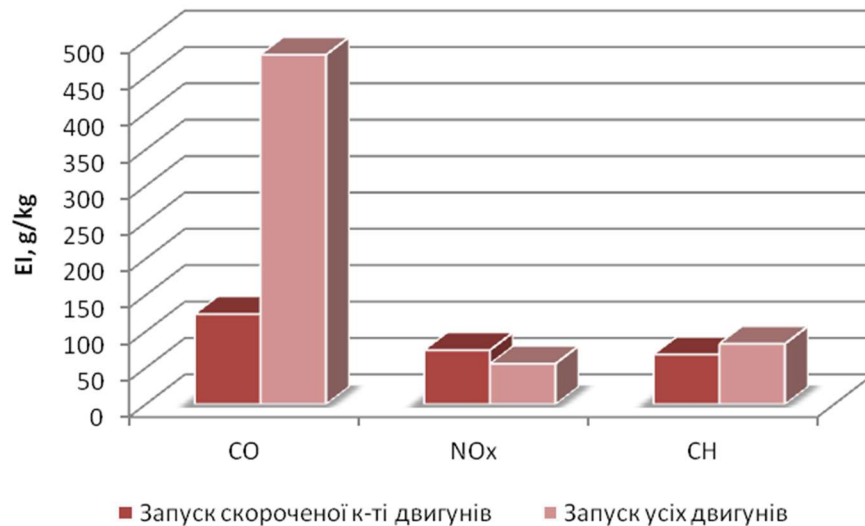


Рис. 1.11 – Порівняння сумарного викиду ЗР при роботі скороченої кількості двигунів під час руління ПС (Ан-24, Ту-154, Як-42, Як-40)

5.2 Буксирування повітряного судна до та від злітно-поосадкової смуги для скорочення часу роботи двигунів повітряного судна на землі. Така опція зменшує викиди вуглеводнів та NOx на 1-2% [48]. Так, порівнюючи викиди забруднюючих речовин, які були викинуті при використанні тягача та при самостійному пересуванні повітряного судна, можемо впевнено сказати, що використання тягача знижує викиди забруднюючих речовин майже на 50%, рис. 1.12.

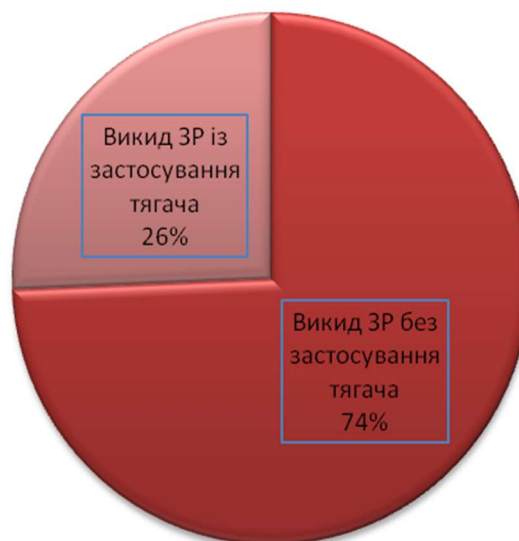


Рис.1.12 – Порівняння викидів ЗР від авіадвигунів під час буксировки ПС до ЗПС без використання та з допомогою тягача

6. *Оптимізація використання ДСУ.* Експлуатація ДСУ під час руління, запуску двигунів та наземного руху повітряного судна призводить до забруднення атмосферного повітря. Так, складова ДСУ становить 2-3% від загальної маси викиду оксидів азоту від повітряного судна [51]. Альтернативною заміною для ДСУ можуть служити енергетичні фіксовані системи, застосування яких може сприяти скороченню емісій NOx до 60% [51].

7. *Зменшення швидкості руху* повітряного судна під час приземлення за рахунок зворотної тяги двигуна повітряного судна або використання гальм. Наведена опція скорочує викид NOx, але призводить до додаткових емісій ЗЧ.

Слід також окремо виділити важливий підхід – *зонування території навколо аеропорту* (санітарно захисна зона), з урахуванням умов якості АП, та відповідне її планування та забудову.

Слід також окремо виділити важливий підхід – **зонування території навколо аеропорту**, а саме розрахунок санітарно-захисної зони (СЗЗ), спрямоване на дотримання нормативів якості АП на прилеглих територіях аеропорту.

Промислові підприємства, а також об'єкти з технологічними процесами, які супроводжуються викидами шкідливих речовин в атмосферу, повинні мати санітарно-захисні зони, створені відповідно до вимог пп. 5.4-5.10 ДСП 173-96 [27].

СЗЗ – функціональна територія між промисловим підприємством або іншим виробничим об'єктом, що є джерелом надходження шкідливих чинників в навколишнє середовище, і найближчою житловою забудовою (чи прирівняними до неї об'єктами). Мета її створення – зменшення залишкового впливу цих факторів до рівня гігієнічних нормативів з метою захисту населення від їх несприятливого впливу.

З метою забезпечення оптимальних умов життєдіяльності людини в районах житлової забудови, масового відпочинку і оздоровлення населення, при визначенні місць розміщення нових, реконструкції діючих підприємств та інших об'єктів з технологічними процесами, які супроводжуються викидами

шкідливих речовин в атмосферу, повинні мати СЗЗ, створені відповідно до вимог пп. 5.4-5.10 ДСП 173-96 [27].

СЗЗ слід встановлювати від джерел шкідливості до межі житлової забудови, ділянок громадських установ, будинків і споруд, в тому числі дитячих, навчальних, лікувально-профілактичних установ, закладів соціального забезпечення, спортивних споруд, а також територій парків, садів, скверів та інших об'єктів зеленого будівництва загального користування, місць відпочинку та інших, прирівняних до них об'єктів.

На зовнішній межі СЗЗ, зверненої до житлової забудови, концентрації та рівні шкідливих факторів не повинні перевищувати їх гігієнічні нормативи (ГДК, ГДР, ОБРВ), на межі курортно-рекреаційної зони – 0,8 від значення нормативу. Територія санітарно-захисної зони не повинна розглядатись, як резерв розширення підприємств та сельбищної території.

Нормативна СЗЗ – мінімальна санітарно-захисна зона для окремих видів виробництв залежно від класу їх небезпеки, розмір якої визначено нормативними документами санітарного законодавства, зокрема санітарною класифікацією підприємств, виробництв, споруд (ДСП-173-96 [27]) та іншими діючими на цей час нормативними документами.

Фактична СЗЗ – санітарно-захисна зона, розмір якої встановлюється для конкретного промислового чи іншого виробничого об'єкта залежно від ступеня його впливу на навколишнє середовище і можливої небезпеки для здоров'я населення, відповідно до санітарного законодавства.

Нормативний розмір санітарно-захисних зон представлено у відомостях щодо СЗЗ, відповідно до ДСП 173-96 [27], для підприємств, виробництв та споруд.

Нормативний розмір СЗЗ повинен перевірятися розрахунками забруднення атмосферного повітря, відповідно до вимог "Методики расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий", (методика ОНД-86 [30]), з урахуванням перспективи розвитку об'єкта та фактичного забруднення атмосферного повітря.

У тих випадках, коли розрахунками не підтверджується розмір нормативної санітарно-захисної зони або неможлива її організація в конкретних умовах, необхідно приймати рішення про зміну технології виробництва, що передбачає зниження викидів шкідливих речовин в атмосферу, його перепрофілювання або закриття. Основою для встановлення санітарно-захисних зон є санітарна класифікація підприємств, виробництв та об'єктів, що наведена у додатку до Державних санітарних норм та правил планування та забудови населених пунктів [7].

Надається обґрунтування розміру СЗЗ, проводиться аналіз витрат, пов'язаних з реалізацією заходів щодо її створення. Збільшення або зменшення розміру СЗЗ для конкретного об'єкта у порівнянні з нормативним, а також розміри СЗЗ для нових видів виробництва затверджуються при належному обґрунтуванні Головним державним санітарним лікарем України, відповідно до пункту 5.9 ДСП-173-96 [7] або установа аналогічного характеру.

У санітарно-захисних зонах не можна допускати розміщення:

- ✓ житлових будинків та прибудинкові території, гуртожитків, готелів, будинків для приїжджих, аварійних селищ;
- ✓ дитячих дошкільних закладів, загальноосвітніх шкіл, лікувально-профілактичних та оздоровчих установ загального та спеціального призначення зі стаціонарами, наркологічних диспансерів, спортивних споруд, садів, парків, садівницьких товариств;
- ✓ охоронних зон джерел водопостачання, водозабірних споруд та споруд водопровідної розподільної мережі.

Не допускається використання для вирощування сільськогосподарських культур, пасовищ для худоби земель санітарно-захисної зони підприємств, що забруднюють навколишнє середовище високотоксичними речовинами та речовинами, що мають віддалену дію (солі важких металів, канцерогенні речовини, діоксини, радіоактивні речовини та ін.).

Можливість сільськогосподарського використання земель санітарно-захисних зон, що не забруднюються вище переліченими речовинами,

необхідно визначати за погодженням з територіальними органами Мінсільгоспроду і Міністерства охорони здоров'я України.

У санітарно-захисній зоні допускається розташовувати:

✓ пожежні депо, лазні, пральні, гаражі, склади (крім громадських та спеціалізованих продовольчих), будівлі управлінь, конструкторських бюро, учбових закладів, виробничо-технічні училища без гуртожитків, магазини, підприємства громадського харчування, поліклініки, науково-дослідні лабораторії, пов'язані з обслуговуванням даного та прилеглих підприємств;

✓ приміщення для чергового аварійного персоналу та добової охорони підприємств за встановленим списочним складом, стоянки для громадського та індивідуального транспорту, місцеві та транзитні комунікації, ЛЕП, електростанції, нафто- і газопроводи, свердловини для технічного водопостачання, водоохолоджуючі споруди, споруди для підготовки технічної води, каналізаційні насосні станції, споруди оборотного водопостачання, розсадники рослин для озеленення підприємств та санітарно-захисної зони.

Для зниження рівня забруднення атмосферного повітря необхідно передбачати заходи планувального, технологічного, санітарно-технічного і організаційного характеру, а саме:

✓ виведення із житлової забудови промислових підприємств, що несприятливо впливають на повітряне середовище сільськогосподарської території (або їх перепрофілювання);

✓ максимальне використання безвідходних і маловідходних технологічних процесів з обґрунтуванням досяжності рішень, що приймаються;

✓ впровадження технологічного чи санітарно-технічного обладнання, що забезпечує вловлювання, утилізацію, знешкодження викидів і відходів або повне їх виключення;

✓ регулювання викидів шкідливих речовин в атмосферу з урахуванням прогнозу несприятливих метеорологічних умов;

✓ створення об'їзних доріг для транзитного транспорту, будівництво автомобільних доріг вантажного призначення в промислово-складських зонах, організацію безупинного руху за принципом "зеленої хвилі", впровадження нейтралізаторів відпрацьованих газів, заборону використання у великих містах і курортних центрах етилованого бензину.

2. ОСНОВНІ ЕЛЕМЕНТИ МОДЕЛЮВАННЯ РІВНІВ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ АЕРОПОРТАХ

Метою моделювання забруднення атмосферного повітря внаслідок експлуатації стаціонарних та пересувних джерел викидів на території аеропорту є оцінка санітарно-гігієнічного стану атмосферного повітря, прогнозування та запобігання виникненню небезпечних разових концентрацій забруднюючих речовин у атмосферному повітрі в межах та на прилеглих територіях аеропорту.

Задачі обчислювального моніторингу емісій та забруднення повітря аеропорту вирішуються через розробку моделей забруднення атмосферного повітря:

- розрахунок масових викидів забруднюючих речовин у приземному шарі атмосфери (до 900 м) від окремого стаціонарного або пересувного джерела за різних експлуатаційних та метеорологічних умов;
- розрахунок поля миттєвих концентрацій забруднюючих речовин в повітрі аеропорту та прилеглих територій, що утворюються внаслідок викидів стаціонарних або пересувних джерел викидів;
- розрахунок поля осереднених (максимально-разових та/або середньодобових) концентрацій забруднюючих речовин в атмосферному повітрі у межах аеропорту та прилеглих територій для різних сценаріїв повітряного руху.

Керівництво ІСАО з контролю якості повітря аеропорту [21] рекомендує 4 відомі моделі для розрахунку полів концентрацій забруднюючих речовин у межах аеропорту та на прилеглих територіях.

Система моделювання LASPORT (LASAT for airports) спрямована на оцінку викидів ЗР від усіх джерел забруднення АП та їх розсіювання за моделлю LASAT (Lagrangian Simulation of Aerosol-Transport) у межах та навколо аеропорту [103], рис.2.1, рис.2.2 [53].

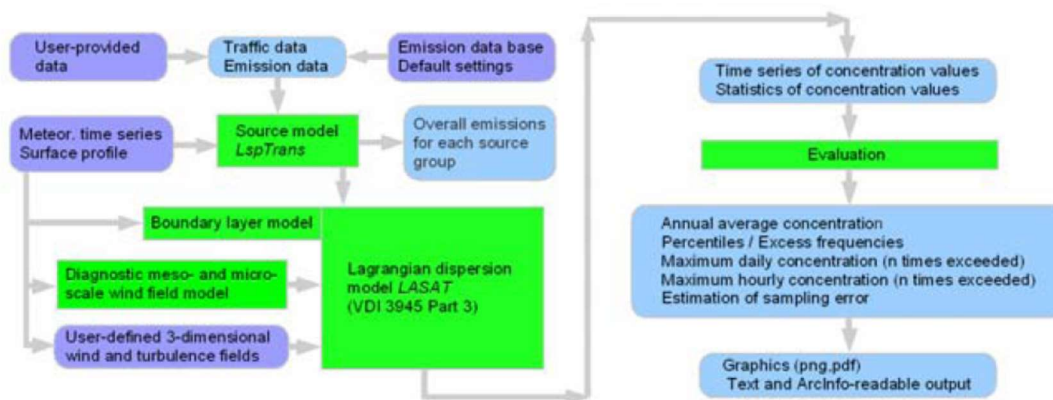


Рис.2.1 – Структура системи моделювання *LASPORT (LASAT)*

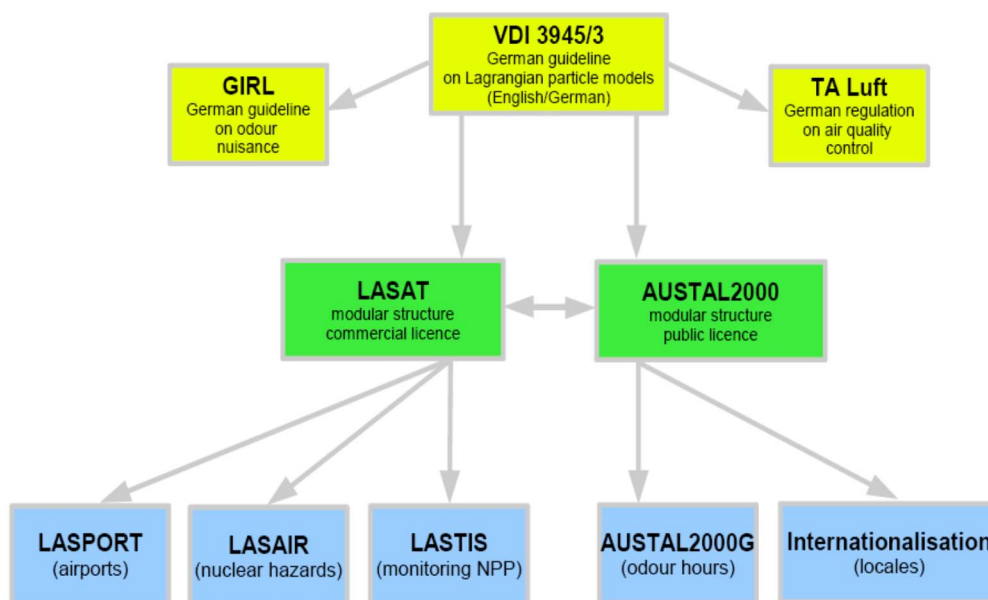


Рис.2.2 – Система регулювання якості атмосферного повітря на території Німеччини

Зазначена система моделювання була розроблена за дорученням Товариства німецьких аеропортів (ADV). З кінця 2002 року ця система моделювання затверджена на державному рівні Німеччини (директива VDI 3945) як базовий інструмент для оцінки, прогнозу та регулювання якості атмосферного повітря [53]. В основу моделі розсіювання домішок забруднюючих речовин LASAT покладена модель Лагранжа, яка визначає

концентрацію ЗР шляхом підрахунку домішок та маси, що переноситься ними в одиниці об'єму протягом певного проміжку часу. Модель розсіювання домішок уможливорює обробку різних експлуатаційних та метеорологічних ситуацій для усіх джерел викидів в зоні аеропорту залежно від часу. Тому вона особливо підходить для оцінки, аналізу та прогнозування забруднення атмосферного повітря авіаційним транспортом. Зазначені особливості сприяли широкому застосуванню саме цієї моделі для розв'язання задач інформаційного моніторингу;

система моделювання EDMS (Emission and Dispersion Modeling System) спрямована на оцінку викидів забруднюючих речовин від усіх джерел забруднення атмосферного повітря та їх розсіювання за моделлю AERMOD (Atmospheric dispersion model) [54] у межах та навколо аеропорту; зазначена система моделювання була розроблена федеральним авіаційним агентством у США.

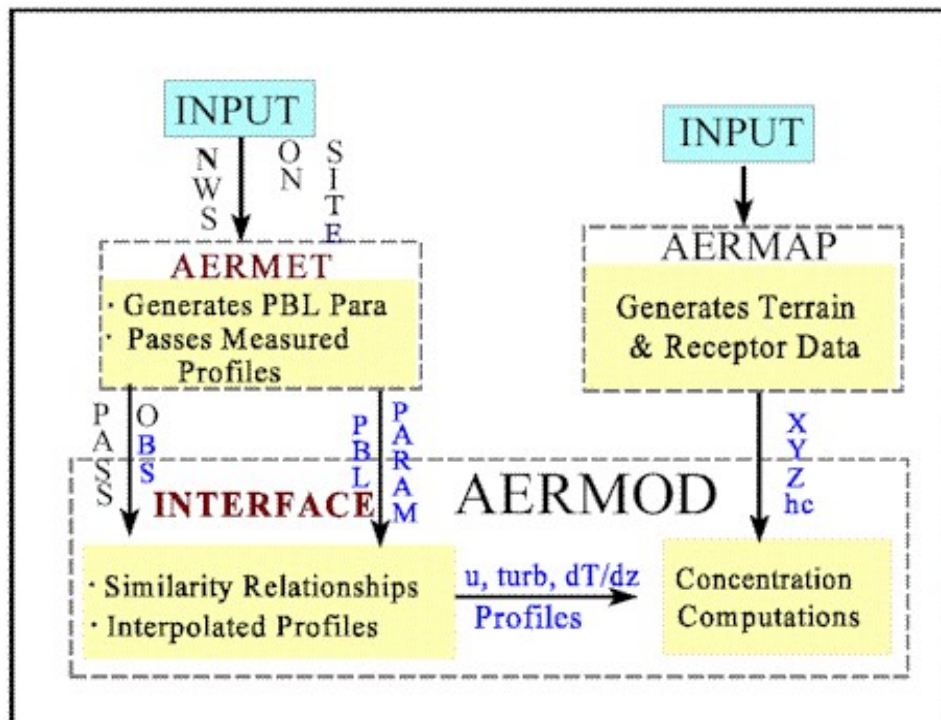


Рис.2.3 – Структура системи моделювання EDMS (AERMOD)

В основу моделі розсіювання домішок ЗР AERMOD покладена модель Гауса, яка обчислює приземні концентрації ЗР на території аеропорту від усіх

джерел викидів (стаціонарних та пересувних) для різних експлуатаційних сценаріїв та метеорологічних умов.

$$C(x; y; z; H) = \frac{Q}{2 \times \pi \times \sigma_y \times \sigma_z \times u} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right] \cdot \left\{ \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z-H}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z+H}{\sigma_z}\right)^2\right] \right\} \quad (2.1)$$

Аналогічно до LASAT, модель AERMOD обчислює поле концентрації ЗР як від точечного або лінійного джерела викидів, у залежності від експлуатаційних умов;

3) система моделювання ALAQS-AV (Airport Local Air Quality Studies) спрямована на оцінку емісій ЗР від усіх джерел забруднення АП на території аеропорту, а подальша оцінка розсіювання ЗР в АП виконується за моделями LASAT та AERMOD [21].

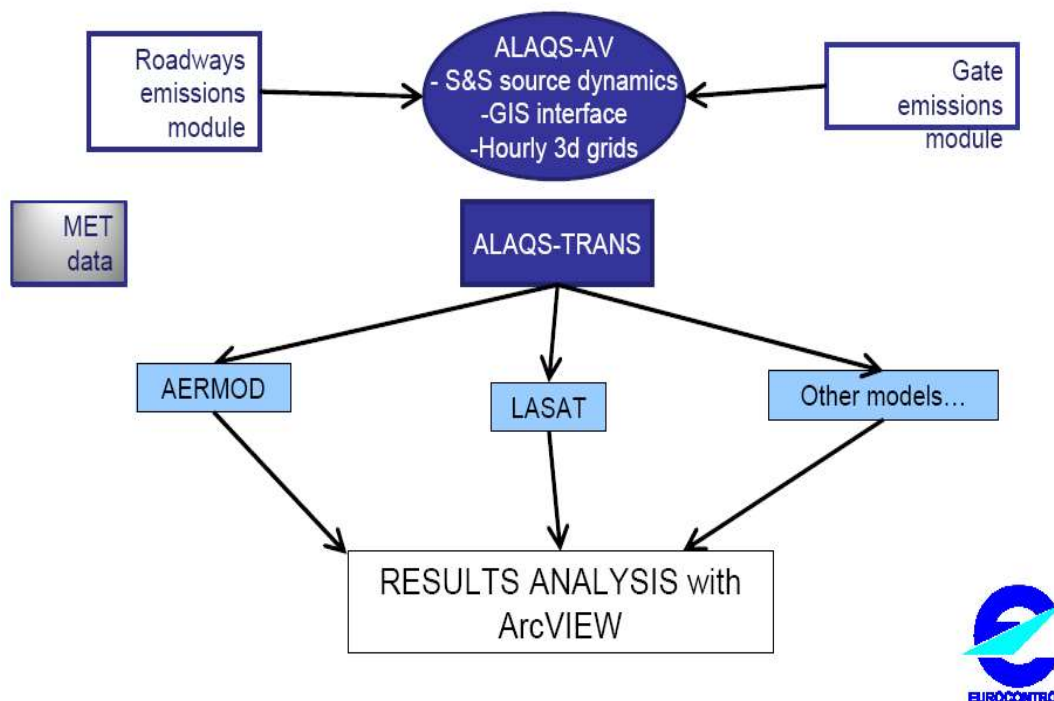


Рис.2.4 – Структура системи моделювання ALAQS-AV

4. Комплексну модель PolEmiCa було розроблено У Національному авіаційному університеті (рис.2.5), яка забезпечує розрахунок викидів й миттєвих та осереднених (максимально-разових, середньодобових та осереднених за рік) концентрацій забруднюючих речовин у межах території

аеропорту внаслідок емісії авіадвигунів та інших стаціонарних/пересувних джерел викидів аеропорту (стаціонарних та пересувних), враховуючи процеси перенесення та розбавлення домішок забруднюючих речовин струменем газів протягом операцій (стандартного або реального) злітно-посадкового циклу, на базі моделі пересувного точкового джерела, моделей стаціонарного точкового, лінійного та площадкового джерел [55,56].

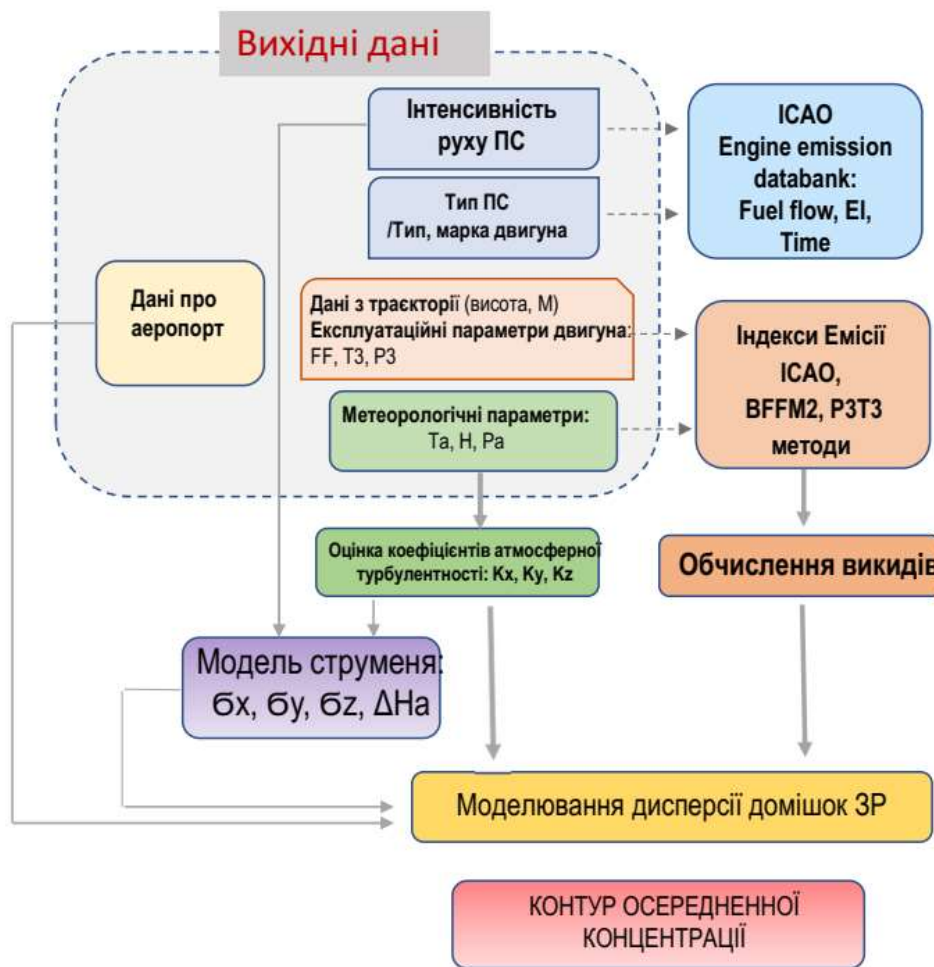


Рис.2.5 – Комплексна модель PolEmission

У 2019 р. комплексна модель PolEmission представлена на верифікацію робочій групі «Моделі і бази даних» комітету ICAO/CAEP для доведення їх відповідності чинним міжнародним вимогам, зокрема вимогам ICAO Doc 9889, відповідно до поточних завдань комітету ICAO/CAEP/11 M.05 Existing Model and Database Management в частині можливості моделювати викиди

зважених часток $nVRM$ протягом повного маршруту польоту та до задачі M.06 New Model Evaluation в частині оцінки нових моделей. Наразі верифікація комплексної моделі PolEmitCa повністю завершена [57,58].

З 2020 року комплексна модель PolEmitCa включена до поточних завдань з оцінки якості повітря робочої групи «Моделі і бази даних» MDG комітету ICAO/CAEP в частинні техніко-економічного обґрунтування нової метрики оцінки локального забруднення атмосферного повітря аеропорту.

Методика ОНД-86 на даний час затверджена на державному рівні (ліцензована Міністерством охорони навколишнього природного середовища України) та рекомендована для розрахунку розсіювання викидів в атмосферне повітря при нормуванні та лімітуванні гранично допустимих викидів (ПДВ) й тимчасово погодженого викиду (ТПВ) від стаціонарних джерел викидів.

Методика спрямована на декілька класів джерел: поверхневі джерела з $H \leq 2$ м, низькі джерела з $2 < H \leq 10$, високі джерела з $H > 50$ м і джерела середньої висоти з $10 < H < 50$ м. Також враховуються будівлі, які можуть бути практично важливими для джерел з $H \leq 50$ м.

Нормативна методика ОНД-86 [34] базується на наступних припущеннях:

- На розсіювання забруднюючих речовин в атмосфері впливають метеорологічні параметри (швидкість і напрямок вітру, температурна стратифікація атмосфери і температура повітря);
- Приземна концентрація забруднюючих речовин залежить від параметрів джерела викидів та складу газоповітряної суміші.

В основу цієї методики покладена модель розрахунку осередненої концентрації домішки ЗР у 2-метровому шарі над поверхнею землі внаслідок викидів стаціонарних джерел забруднення. Зазначена модель ґрунтується на розв'язанні напівемпіричного рівняння турбулентності за методом Ейлера.

На відміну від більшості західних регулятивних дисперсійних моделей (здебільшого типу моделей Лагранжа), модель ОНД-86 не використовує формули Гаусса і базується на аналітичних наближеннях чисельного

обчислення рівняння адвекції-дифузії (ADE) – відомого, що як ейлерів підхід у розв’язанні рівняння збереження маси забруднюючої речовини.

$$\frac{\partial c}{\partial t} + \sum_{i=1}^3 u_i \frac{\partial c}{\partial x_i} = \sum_{i=1}^3 \frac{\partial}{\partial x_i} k_i \frac{\partial c}{\partial x_i} + \alpha \times q, \quad (2.2)$$

де:

C – концентрація забруднювача;

t — час; x_i — координати;

u_i – компоненти вектора швидкості;

k_i — коефіцієнти турбулентної дифузії ($i=1, 2, 3$);

α — коефіцієнт, що враховує перетворення забруднювачів повітря (розраховується з хімічних реакцій).

Швидкості вітру u_i і коефіцієнти турбулентності атмосфери K_x, K_y, K_z описують стан атмосфери (в залежності від шаруватості або класу стійкості атмосфери). Значний матеріал зібрано за параметрами швидкостей вітру та факторів турбулентної дифузії в залежності від класу стійкості атмосфери (метеорологічних параметрів), часу доби, пори року та географічного розташування досліджуваного місця. Це означає, що коефіцієнти атмосферної дифузії (K_x, K_y, K_z) заздалегідь визначені як вихідні дані для розрахунку дисперсії в залежності від цих метеорологічних параметрів.

Отримане рішення було узагальнено на випадки складного рельєфу місцевості та будівельних середовищ з використанням результатів низки чисельних, польових та лабораторних експериментів.

Модель, як показано на рис. В1, обчислює характеристики (розміри) шлейфу забруднення, такі як його максимальна відстань за вітром від труби (X_m), максимальна ширина (Y_m), а також максимальна висота (Z_m). Розрахунки також передбачають розподіл температури для газів, що викидаються з димової труби, концентрації газоподібних і твердих забруднюючих речовин, що викидаються з промислової димової труби (точкове джерело).

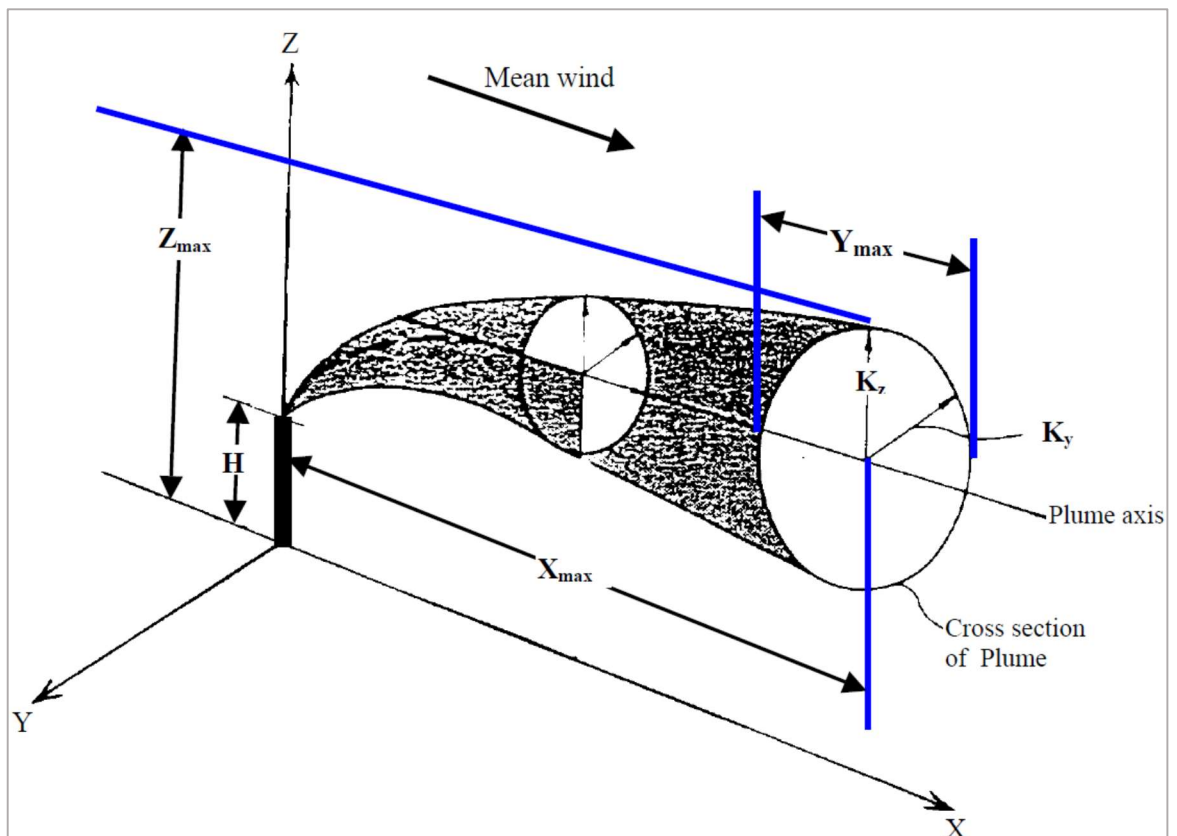


Рис.2.6 – Основні параметри шлейфу забруднення

Базове рівняння для розрахунку максимального значення приземної концентрації забруднюючої речовини від точкового стаціонарного джерела з круглим гирлом має наступний вигляд:

$$C_m = \frac{A \times Q \times F \times m \times n \times \mu}{H^2 \times \sqrt[3]{V_{1 \times \Delta T}}} \quad (2.3)$$

де:

Q (г/с) – секундний викид забруднюючої речовини;

F – безрозмірний коефіцієнт, що враховує швидкість осідання забруднюючих речовин в атмосферному повітрі. F коливається від одиниці для газів і легких забруднювачів до 2-3 для важких часток і залежить від ефективності очищення від пилу або золи;

m , n – безрозмірні коефіцієнти, що враховують умови виходу газоповітряної суміші з гирла джерела викиду;

H (м) – висота джерела викидів над рівнем земної поверхні;

μ – безрозмірний коефіцієнт, який враховує вплив рельєфу місцевості: для рівної поверхні $\eta = 1$. Для місцевості з витягнутими пагорбами або долинами максимальні значення η залежать від розташування джерела та точки вимірювання концентрації.

ΔT (°C) – різниця між температурою газоповітряної суміші та температурою атмосферного повітря;

V_1 – витрата газоповітряної суміші, м³/с;

A – це коефіцієнт, що залежить від температурної стратифікації атмосфери, визначається співвідношенням:

$$A = a \frac{k_1}{u_1 \cdot \varphi_0}$$

де величина a залежить від шорсткості підстилаючої поверхні z_0 і від висоти приземного шару h . Для середньої шорсткості $a = 0,3$

Коефіцієнт A слід обирати за схожістю турбулентного режиму і кліматичних особливостей географічних регіонів. Над територією колишнього СРСР значення A коливатиметься від 140-180 для зон з помірною турбулентністю, розташованих в центральній і північній половині європейської частини країни, до 250 для зон з найбільш інтенсивним турбулентним обміном в субтропіках. Середньої Азії і в Забайкальському краї [1-3]. Для інших країн рекомендується встановлювати A відповідно до подібності кліматичних умов. Отже, визначення концентрації при несприятливій стратифікації (B19) означає, що воно дозволяє мінімізувати вихідну метеорологічну інформацію, необхідну для розрахунків, обмеживши вибір вказаними значеннями A для різних кліматичних зон.

Значення m і n виводяться з графіків на рис. 2.7 і рис. 2.8 відповідно; вони залежать від наступних допоміжних параметрів:

$$f = 1000 \frac{w_0^2 \cdot D}{H^2 \cdot \Delta T} \quad Vm = 0,65 \times \sqrt[3]{V_1 \times \Delta T / H} \quad (2.4)$$

$$f_e = 800 \cdot (V'_m)^3$$

$$V'_m = 1,3 \times \frac{\omega_0}{H} D \quad (2.5)$$

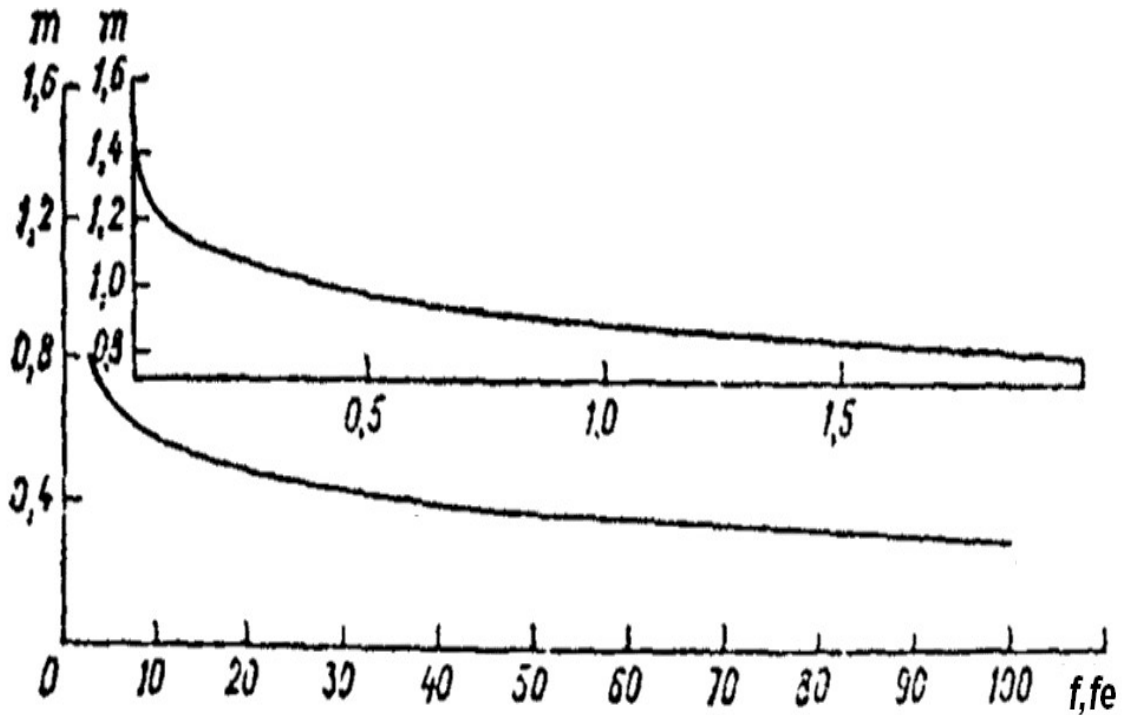


Рис.2.7 – Залежність безрозмірного коефіцієнту m від умов виходу газоповітряної суміші з гирла джерела викиду

Відстань X_m від джерела викидів на якій приземна концентрація C ($\text{мг}/\text{м}^3$) за несприятливих метеорологічних умов сягає максимального значення C_m визначається наступним чином:

$$X_m = \frac{5 - F}{4} dH \quad (2.6)$$

де: параметр d залежить від експлуатаційних умов [31].

Значення небезпечної швидкості вітру U ($\text{м}/\text{с}$) на рівні флюгера (зазвичай 10 м на рівнем земної поверхні), за якою максимально-разова концентрація сягає максимального значення, C_m обчислюється наступним чином:

➤ за умов горячого викиду ($f < 100$):

$$\checkmark U_m = 0,5 \quad \text{при } V_m \leq 0,5$$

$$\checkmark U_m = V_m \quad \text{при } 0,5 < V_m \leq 2$$

$$\checkmark U_m = V_m \times (1 + 0,12\sqrt{f}) \quad \text{при } V_m > 2$$

➤ за умов холодного викиду ($f \geq 100$):

$$\checkmark U_m = 0,5 \quad \text{при } V'_m \leq 0,5$$

$$\checkmark U_m = V'_m \quad \text{при } 0,5 < V'_m \leq 2$$

$$\checkmark U_m = 2,2 \times V'_m \quad \text{при } V'_m > 2$$

де: ω_0 – швидкість виходу газоповітряної суміші, м/с;

D – діаметр гирла джерела викидів.

Максимальне значення приземної концентрації забруднюючої речовини C_{mu} за несприятливих метеорологічних умов та швидкості вітру U (м/с), яка ввідрізняється від небезпечної швидкості вітру U_m (м/с) та визначається наступним чином:

$$C_{mu} = r \times C_m \quad (2.7)$$

де r – безрозмірна величина, яка визначається в залежності від U/U_m за рис.2.3.

Відстань від стаціонарного джерела викидів X_{mu} (м) на якій при швидкості вітру U та за несприятливих метеорологічних умов приземна концентрація забруднюючих речовин сягають максимального значення C_{mu} (мг/м³) визначається наступним чином:

$$X_{mu} = p \times X_M \quad (2.8)$$

де p – безрозмірна величина, яка визначається в залежності від U/U_m за рис.2.3.

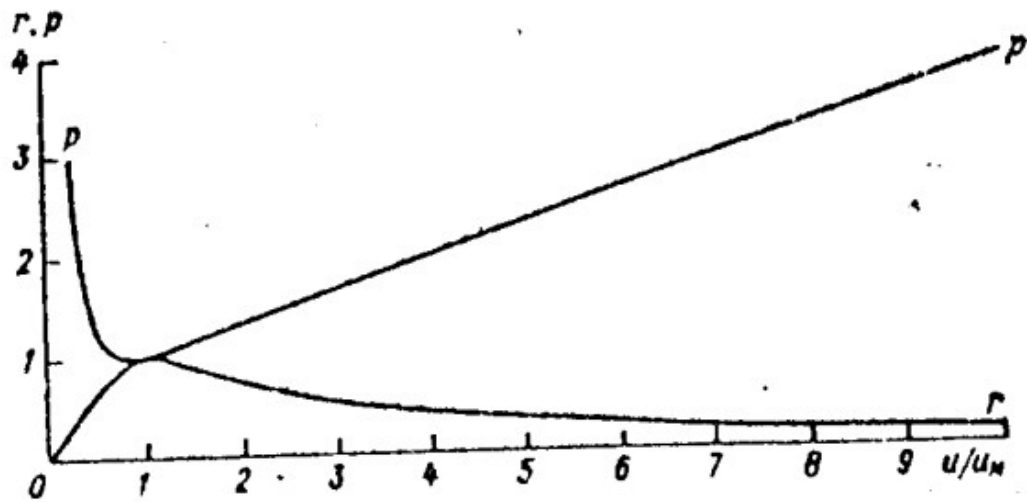


Рис. 2.8 – Залежність безрозмірних величини r та ρ від U/U_m

У загальному випадку максимально-разова концентрація в вузлах розрахункової сітки обчислюється за наступною формулою: Переробити формулу

$$C = C_m \cdot r \cdot s_1 \cdot (x / \rho \cdot x_m) \cdot s_2 \cdot (u, y / x) \quad (2.9)$$

де

$r = r(u/u_M)$, $\rho = \rho(u/u_M)$ та наведені нижче залежності (рис.2.9, рис.2.10) відповідно для оцінки змінних s_1 та s_2 .

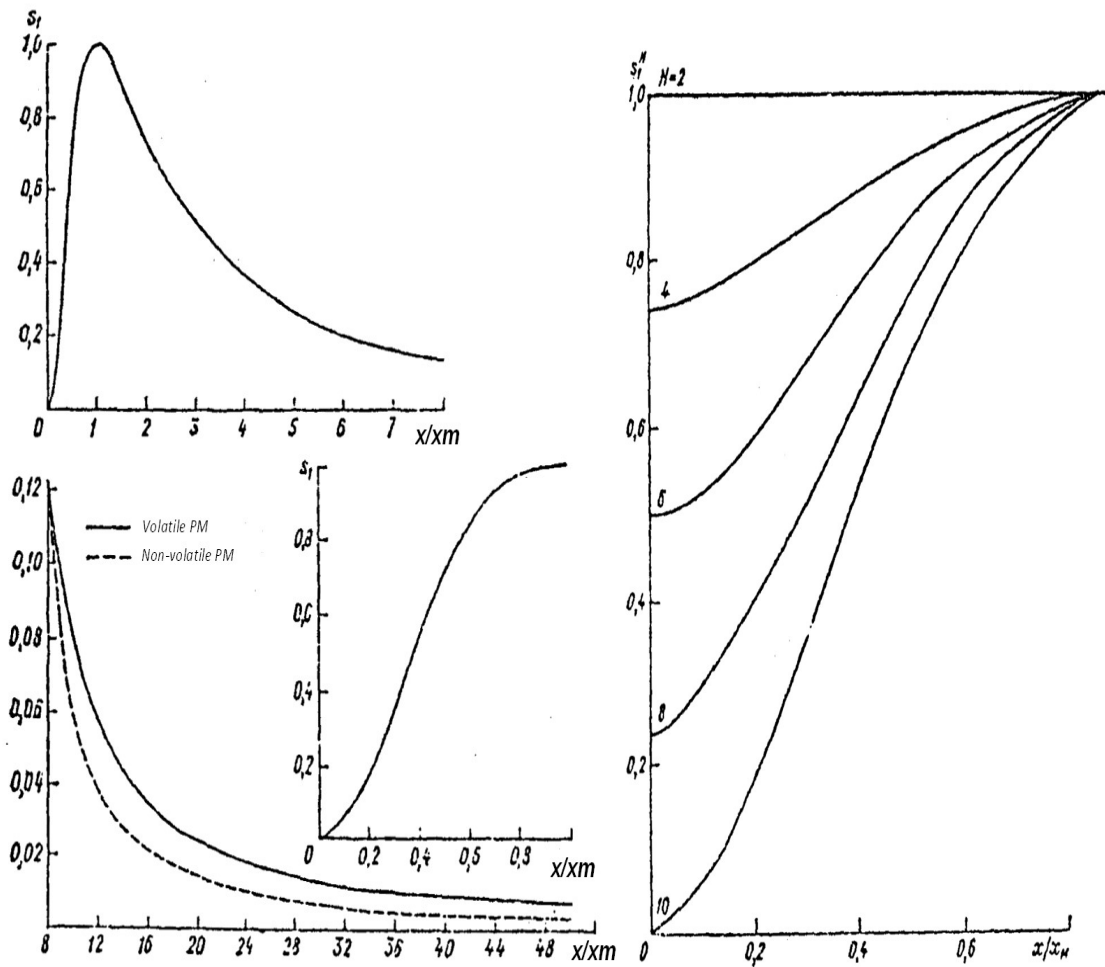


Рисунок 2.9 – Залежність безрозмірного коефіцієнта s_1 від відстані для точкового джерела

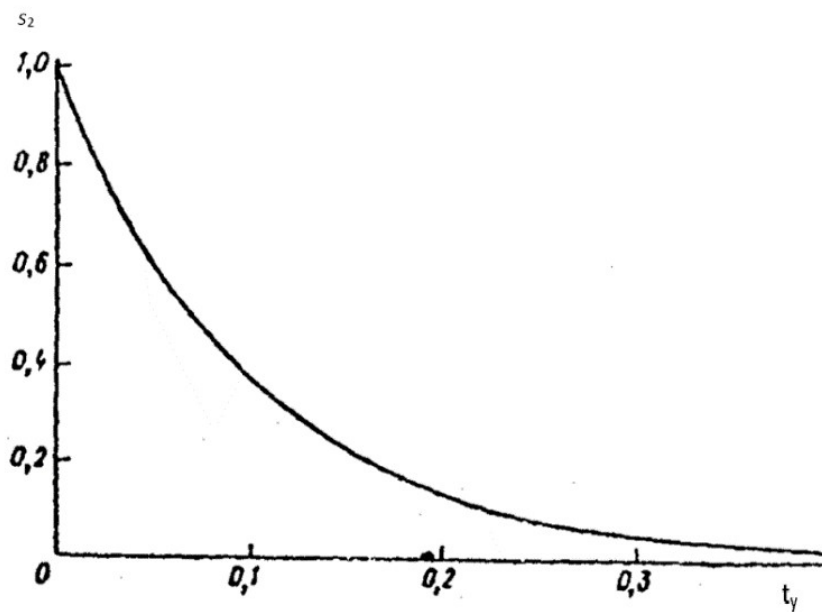


Рисунок 2.10 – Залежність безрозмірного коефіцієнта s_2 від швидкості вітру та співвідношення y/x

Розмір СЗЗ авіапідприємства перевіряється розрахунками забруднення АП, відповідно до нормативної методики ОНД-86 [34].

В основу цієї методики покладена модель розрахунку осередненої концентрації домішки ЗР у 2-метро-вому шарі над поверхнею землі внаслідок викидів стаціонарних джерел забруднення. Зазначена модель ґрунтується на розв'язанні напівемпіричного рівняння турбулентності за методом Ейлера.

Ступінь небезпечності забруднення АП визначається найбільшим розрахованим значенням приземних концентрацій, які утворюються за несприятливих метеорологічних умов. Основна мета призначення цієї методики – це розрахунок гранично-допустимого викиду (ГДВ) та тимчасово погодженого викиду (ТПВ) від стаціонарних джерел викидів. Використання її для пересувних джерел, зокрема ПС, є некоректним, адже не враховуються експлуатаційні умови ПС, фактори переносу та розбавлення домішок ЗР струменем нагрітих газів від АД (прилипання та спливання струменя), компоновка двигуна ПС та інше. Крім того, період осереднення концентрацій ЗР (20 хв.) не відповідає інтенсивності викиду ПС, внаслідок чого величини розрахованих разових концентрацій ЗР є необ'єктивними та завищеними.

Метод ОНД-86 забезпечує лише короткострокові поля концентрації найгіршого випадку і не може бути використана для оцінки довгострокових (наприклад, річних) концентрацій, що є актуальним для виконання європейських вимог та регламентів.

3.ОЦІНКА РІВНІВ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ В МЕЖАХ ПРИЛЕГЛОЇ ТЕРИТОРІЇ МІЖНАРОДНОГО АЕРОПОРТУ «КИЇВ»

3.1 Аналіз вихідних даних для оцінки рівнів забруднення атмосферного повітря під час експлуатації складу ПММ

Служба ПММ є одним з найважливіших структурних елементів в галузі цивільної авіації, оскільки забезпечує експлуатацію та обслуговування ПС кондиційними авіаційними ПММ і спеціальними рідинами.

До комплексу робіт служби ПММ входять наступні види робіт: прийом авіапалива із залізничних цистерн, зберігання палива на складі ПММ, перекачування у витратні резервуари та видача авіаційного палива в паливозаправники на заправку ПС.

Служба ПММ в Комунальному підприємстві міжнародний аеропорт «Київ» (Жуляни) включає наступні елементи:

- склад зберігання мастил;
- будівля спиртосховища ПММ;
- мастилонасосна станція;
- безнонасосна станція;
- виробнична будівля складу ПММ;
- заправник на складі ПММ;
- резервуари для зберігання бензину, гасу та дизельного палива.

Загальний об'єм складу ПММ – 17070 м³.

На базовому складі ПММ знаходиться 22 наземних ємності:

- ✓ 6 резервуарів ємністю 2000 м³ для зберігання гасу;
- ✓ 1 резервуар ємністю 2000 м³ для зберігання дизпалива;
- ✓ 1 резервуар ємністю 2000 м³ для зберігання бензину;
- ✓ 10 резервуарів ємністю 75 м³ для зберігання бензину;
- ✓ 4 резервуарів ємністю 75 м³ для зберігання дизпалива.

Витрата гасу становить 158375 м³/рік, витрата бензину – 8561 м³/рік;
 витрата дизпалива – 9412 м³/рік.



Рис.3.1 – Служба ПММ в Комунальному підприємстві міжнародний аеропорт «Київ» (Жуляни)

Склад ПММ знаходиться на відстані 1,5 км від КТА в північно-західному напрямку між аеродромом та сельбищною зоною, рис.3.2.

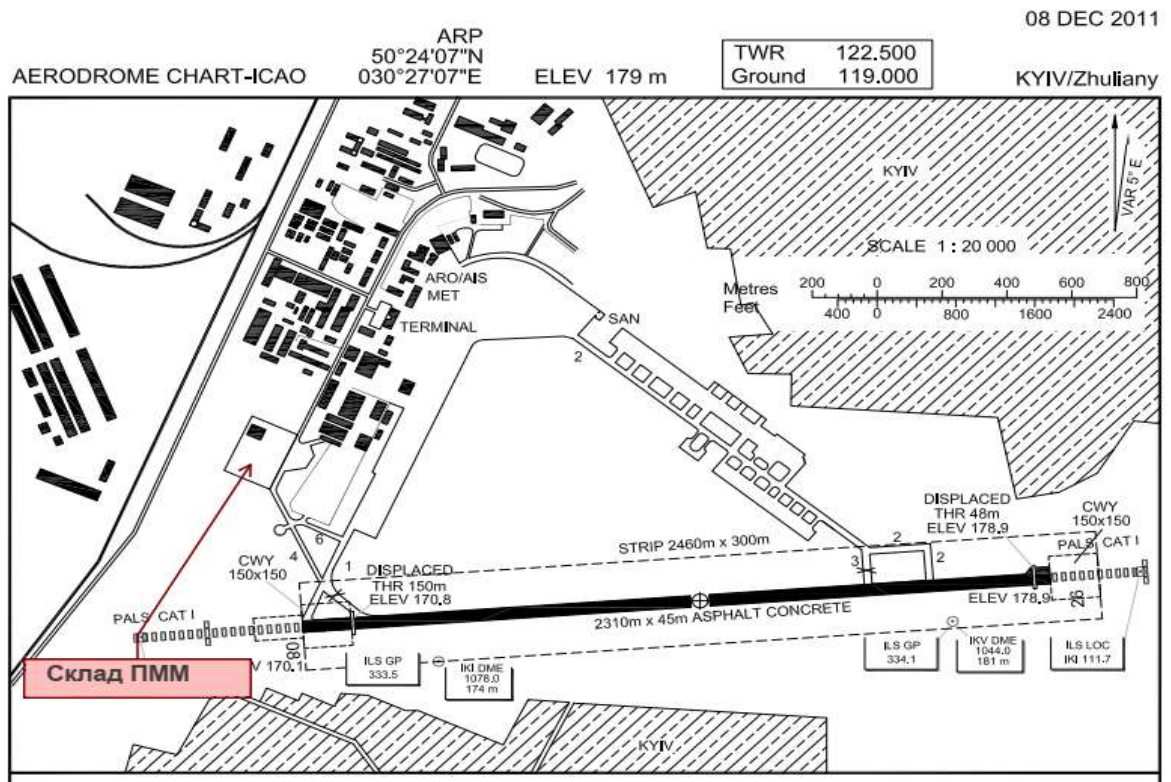


Рис.3.2. – Локація складу ПММ КП МА «Київ» (Жуляни)

Оцінка забруднення атмосферного повітря на території та за межами міжнародного аеропорту «Київ» (Жуляни) була виконана за наступними наданими документами:

1. генеральний план аеродрому;
2. Метеорологічні данні: швидкість та напрямок вітру (річна роза вітрів), середньомісячна та середньорічна температура, стійкість атмосфери (ізотермія та конвекція), табл.3.1, 3.2 та рис.2.2.

Таблиця 2.2 – Середньомісячна температура атмосферного повітря для 2012-2013 рр.

Місяць	Ср. t, °C
Листопад, 2012	+4,6
Грудень, 2012	-5,3
Січень, 2013	-4,3
Лютий, 2013	-0,9
Березень, 2013	-2,1
Квітень, 2013	+9,6
Травень, 2013	18,4
Червень, 2013	21,1
Липень, 2013	20,3
Серпень, 2013	18,9
Вересень, 2013	+12,7
Жовтень, 2013	+9,8
Листопад, 2013	+6,3
Ср. t	+9,6

Таблиця 3.1 – Повторюваність напрямку вітру за рік за даними метеостанції міжнародного аеропорту «Київ» (Жуляни) для 2012-2013 рр.

Повторюваність (%) напрямку вітру за рік								
Місяць	Північ	ПС	С	ПС	Південь	ПЗ	З	ПЗ
Січень	6,8	8,1	11,6	9,8	10,1	10,1	22,1	19,9
Лютий	6,4	8,15	11,4	9,9	10,8	10,1	21,9	19,7
Березень	7,7	8,2	11,1	9,5	10,6	10,4	22,3	20,0
Квітень	7,3	8,25	11,5	10,0	10,8	9,9	21,5	19,6
Травень	7,6	7,9	11,7	9,7	10,8	10,0	22,0	19,4
Червень	7,1	8,0	12,2	9,8	10,2	10,1	21,3	19,9
Липень	7,2	8,1	12,1	10,2	10,5	10,0	21,8	20,1
Серпень	7,1	8,0	12,2	10,1	10,4	10,1	21,4	20,0
Вересень	7,2	8,4	12,3	10,0	10,1	10,2	21,6	19,5
Жовтень	7,2	8,3	12,0	10,0	10,2	10,2	21,4	19,9
Листопад	7,2	8,1	12,0	9,9	10,3	10,0	21,1	20,0
Грудень	7,1	8,8	11,9	9,9	10,4	10,3	22,0	19,9
Рік	7,25	8,25	12,0	10,0	10,5	10,0	22,0	20,0

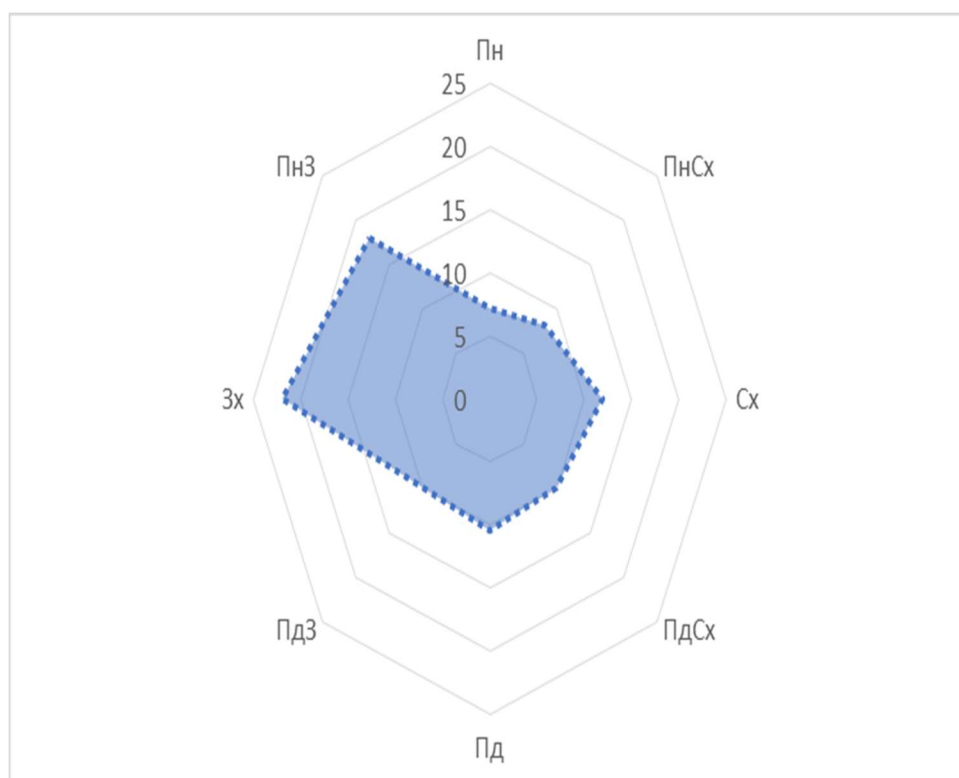


Рис.3.3 – Повторюваність напрямку вітру за рік (річна роза вітрів) за даними метеостанції міжнародного аеропорту «Київ» (Жуляни) для 2012-2013 рр.

3.2 Розрахунок викидів та концентрацій забруднюючих речовин від складу ПММ за звичайних (до військових подій) умов експлуатації

Експлуатації складу ПММ спричиняє забруднення атмосферного повітря викидами парів гасу, бензину та дизельного палива під час процесів зберігання («дихання резервуару») та заправки резервуарів.

На підставі методики [30] було виконано обчислення викидів вуглеводнів під час зберігання та заправки резервуарів складу ПММ за звичайних (до військових подій) умов експлуатації.

Викиди при заправці резервуару паливом, кг/год:

$$Q_f = 2.52 \times V \times P_s \times M_f \times (K5x + K5t) \times K8 \times (1 - \eta) \times 10^{-9} \quad (3.1)$$

Викиди при зберіганні палива, кг/год:

$$Q_k = 2.52 \times V \times P_s \times M_f \times (K5x + K5t) \times K6 \times K7 \times (1 - n) \times 10^{-9} \quad (3.2)$$

де:

V – річний об'єм палива, м³/рік;

P_s – тиск насичених парів, що залежить ввід типу палива: для гасу – 1,279 гПа; для бензину – 588 гПа; для дизпалива – 0,3 гПа;

M – молекулярна маса пального: для гасу – 119,5; для бензину – 69; для дизпалива – 165;

K_5 – коефіцієнт, який характеризує температурні умови газового протору в залежності від пори року: для гасу – 0,21; для бензину – 0,56; для дизпалива – 0,1755;

K_8 – коефіцієнт, який залежить від тиску насичених парів та кліматичної зони: для гасу – 0,5; для бензину – 0,56; для дизпалива – 0,5;

η – коефіцієнт ефективності газоочисних споруд;

K_6 – коефіцієнт, який залежить від співвідношення річної витрати палива (V) та об'єму резервуарів (V_p), а саме:

$$K6 = V/V_p$$

Визначення валових викидів, т/рік:

$$Q_t = Q \times T \times 10^{-3} \quad (3.3)$$

де:

Q – обчислені вище величини викидів за годину під час заправки резервуару (Q_f) та під час зберігання палива (Q_k);

T – період експлуатації джерела.

Період експлуатації резервуару під час заправки паливом, год/рік:

$$T = V/P \times 10^{-3} \quad (3.4)$$

P – продуктивність насосу за паспортними даними:

- a) Для перекачки газу використовується насос продуктивністю 300 м³/год:

$$P = \frac{300 \times 1000}{3600} = 83,3 \text{ л/с}$$
$$T = \frac{\frac{158375 \times 1000}{83,3}}{3600} = 528 \text{ год/рік}$$

- b) Для перекачки бензину – насос продуктивністю 30 м³/год:

$$P = \frac{30 \times 1000}{3600} = 8,33 \text{ л/с}$$
$$T = \frac{\frac{8561 \times 1000}{8,33}}{3600} = 286,5 \text{ год/рік}$$

- c) Для перекачки дизпалива – насос продуктивністю 30 м³/год:

$$P = \frac{30 \times 1000}{3600} = 8,33 \text{ л/с}$$
$$T = \frac{\frac{9421 \times 1000}{8,33}}{3600} = 315 \text{ год/рік}$$

Визначення грам-секундних викидів, г/с:

$$Q_s = Q \times 1000/3600 \quad (3.5)$$

де:

Q – обчислені вище величини викидів за годину під час заправки резервуару (Q_f) та під час зберігання палива ();

На підставі зібраних вихідних даних для складу ПММ (табл.) було виконано обчислення викидів забруднюючих речовин при заправці резервуарів та зберігання палива за наведеним вище алгоритмом (11-12).

Таблиця 3.2 – Вихідні для розрахунку викидів від складу ПММ для різних експлуатаційних умов

Вид резервуару	$V,$ м ³ /рік	$V_p,$ м ³	V/V_p	K5	K6	K8
Наземні для гасу	158375	12000	13.198	0.210	1.26	0.5
Наземні для бензину	6226	2000	3.113	0.6458	4.01	0.56
Наземні для дизпалива	8184	2000	4.092	0.1755	1.26	0.5
Наземні для бензину	2335	750	3.113	0.5458	4.01	0.56
Наземні для дизпалива	1228	300	4.092	0.1755	1.26	0.5

Таблиця 3.3 – Обчислені викиди парів бензину, керосину та вуглеводнів при заправці резервуарів складу ПММ

Вид резервуару	Час (Т), год	Годинний викид, Q_f кг/год	Секундний викид, $Q_s,$ г/с	Валовий викид, $Q_t,$ т/рік
Наземні для гасу	528	0,0064	0,00178	0,0034
Наземні для бензину	286,5	0,2302	0,0639	0,064
Наземні для дизпалива	315	0,00009	0,000025	0,0003
Наземні для бензину	286,5	0,0863	0,02397	0,0247
Наземні для дизпалива	315	0,00004	0,0004	0,004

Таблиця 3.4 – Обчислені викиди парів бензину, керосину та вуглеводнів при зберіганні палива на складі ПММ

Вид резервуару	Час (Т), год	Годинний викид, Q_f кг/год	Секундний викид, Q_s , г/с	Валовий викид, Q_t , т/рік
Наземні для гасу	8760	0,01372	0,0038	0,1202
Наземні для бензину	8760	1,4012	0,3892	12,275
Наземні для дизпалива	8760	0,00019	0,00005	0,00166
Наземні для бензину	8760	0,5255	0,146	4,6034
Наземні для дизпалива	8760	0,00003	0,000003	0,00023

Результати обчислення викидів для різного періоду часу (рік, година, секунда) та різних експлуатаційних умов зведено в таблицю 3.5.

Таблиця 3.5 – Обчислені сумарні викиди парів бензину, керосину та вуглеводнів від складу ПММ

Вид резервуару	Годинний викид, Q_f кг/год	Секундний викид, Q_s , г/с	Валовий викид, Q_t , т/рік
Наземні для гасу	0,02012	0,00558	0,1236
Наземні для бензину	1,6314	0,4531	12,339
Наземні для дизпалива	0,00028	0,000075	0,00196
Наземні для бензину	0,6118	0,16997	4,6278
Наземні для дизпалива	0,00007	0,0007	0,00063

Визначення доцільності виконання розрахунку розсіювання проводилося згідно «Методиці розрахунків концентрацій в атмосферному повітрі шкідливих речовин, що утримуються у викидах підприємств. ОНД-86» (п.

5.21). відповідно до якого розглядаються ті зі шкідливих речовин, що викидаються, для яких:

$$M/\Gamma ДК > \Phi, \text{ де } \Phi = 0.01 * H \text{ при } H > 10 \text{ м, } \Phi = 0.1 \text{ при } H \leq 10 \text{ м,}$$

де:

- M (г/сек) – сумарне значення викиду від усіх джерел підприємства;
- H – середньозважена по підприємству висота джерел викиду.

Дані для розрахунку доцільності виконання розрахунків розсіювання забруднюючих речовин в атмосфері від стаціонарних джерел приведені в таблиці.

Розрахунок доцільності розрахунку розсіювання викидів забруднюючих речовин під час експлуатації складу ПММ приведено у таблиці.

Таблиця 3.6 – Обґрунтування доцільності розрахунку розсіювання викидів (парів бензину, парів керосину, вуглеводнів) під час експлуатації складу ПММ

№	Код ЗР	Найменування забруднюючої речовини	$\Gamma ДК_{\text{м.р.}}$ г/м ³	Потужність викиду, г/сек	Висота викиду, м	M/ $\Gamma ДК$	Φ	Ознака
1	2704	Бензин	5,0	0,62307	5	0,125	0,1	Так
2	2732	Керосин	1,2	0,00558	5	0,0046	0,1	Ні
3	2754	Вуглеводні C12-C19	1,0	0,00078	5	0,00078	0,1	Ні

Отже, розрахунок розсіювання викидів забруднюючих речовин в атмосферному повітря під час експлуатації складу ПММ та оцінки їх впливу на приземний шар атмосфери за методикою ОНД-86 є доцільним тільки для резервуарів з бензином.

Обчислені максимальні концентрації парів бензину, парів керосину та вуглеводні не перевищують рівень $\Gamma ДК$, табл.3.6.

Таблиця 3.7 – Максимальні концентрації парів бензину, парів керосину та вуглеводнів атмосферному повітрі внаслідок викидів складу ПММ

№	Код ЗР	Клас небезпеки	Джерело викидів	Максимальна концентрація, C_M , мг/м ³ (долі ГДК)	Відстань на якій формується C_M , X_M , м
1	2704	4	Резервуар з бензином	0,4056	28,62
2	2732	4	Резервуар з керосином	0,012	28,62
3	2754	4	Резервуар з дизпаливом	0,025	28,62

З метою дослідження та оцінки рівнів забруднення атмосферного повітря внаслідок експлуатації резервуарів з бензином було виконано розрахунок максимально – разової концентрації парів бензину на приаеродромній території за методикою ОНД-86 [34] з урахуванням рози вітрів.

Розміри сітки приймачів становили 4 км за шириною та 4 км за довжиною, з кроком 50 м.

Обчислені контури максимально-разової концентрації парів бензину були нанесені на генплан аеродрому КП МА «Київ», рис. 3.4

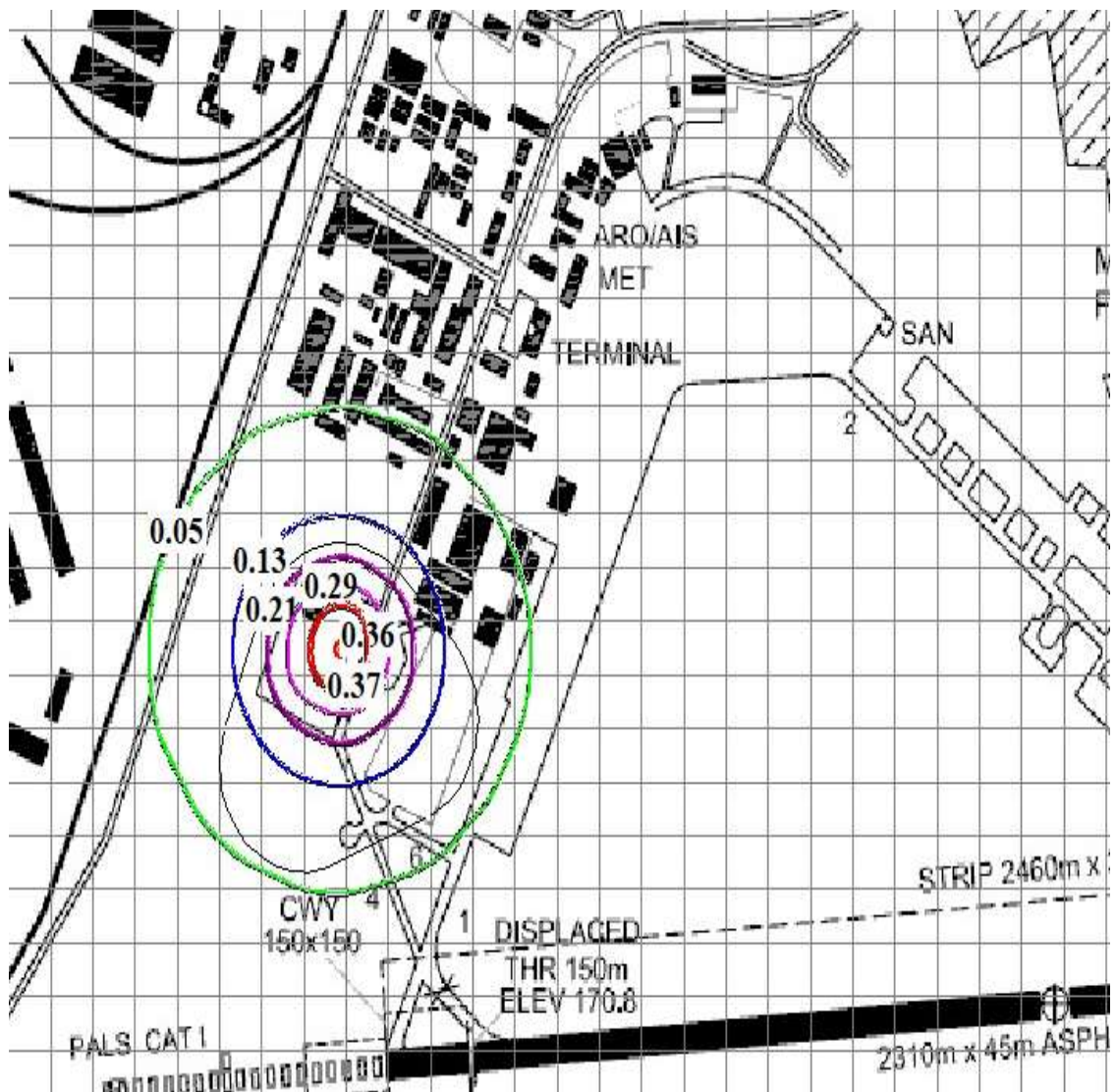


Рис. 3.4 – Поле концентрацій парів бензину в результаті викидів від складу ПММ (резервуар з бензином) з урахуванням річної рози вітрів

На основі аналізу результатів моделювання концентрацій виявлено, що максимальні концентрації парів бензину формуються на незначній відстані від резервуару [-1356.8; 572.40], табл. 3.8.

Таблиця 3.8 – Приймачі з найбільшими концентраціями парів бензину

№ приймача	Координати приймача, м		Напрямок	Швидкість	Концентрація
	Х	У	вітру	вітру	доля ГДК
1	-1350	600	76	0,5	0,4056
2	-1350	550	287	0,5	0,4026
3	-1400	550	207	0,5	0,3324
4	-1400	600	147	0,5	0,3227
5	-1300	550	338	0,5	0,2827
6	-1300	600	26	0,5	0,2798
7	-1350	500	275	0,5	0,2483
8	-1350	650	85	0,5	0,2325
9	-1400	500	239	0,5	0,2144
10	-1400	650	119	0,5	0,2026

Відповідно до Державних санітарних норм та правил планування, забудови населених пунктів [3] склад ПММ відноситься до IV класу підприємств за санітарною класифікацією, а розмір санітарно-захисної зони складає – 100 м. За методикою ОНД-86 [30] визначено розміри санітарно-захисної зони складу ПММ, з урахуванням середньорічної повторюваності напрямів вітру, табл. Запропоновані розміри СЗЗ враховують середньорічну повторюваність напрямів вітру, вони наведені в табл. 3.9.

Таблиця 3.9 – Запропоновані розміри СЗЗ для складу ПММ з урахуванням річної рози вітрів (розмір нормативної СЗЗ - 100 м)

Напрямок вітрів	Пн	ПнС	С	ПдС	Пд	ПдЗ	Зх	ПнЗ
Повторюваність вітрів, %	7,25	8,25	12	10	10,5	10	22	20
Пропонований розмір, м	58	66	96	80	84	80	176	160

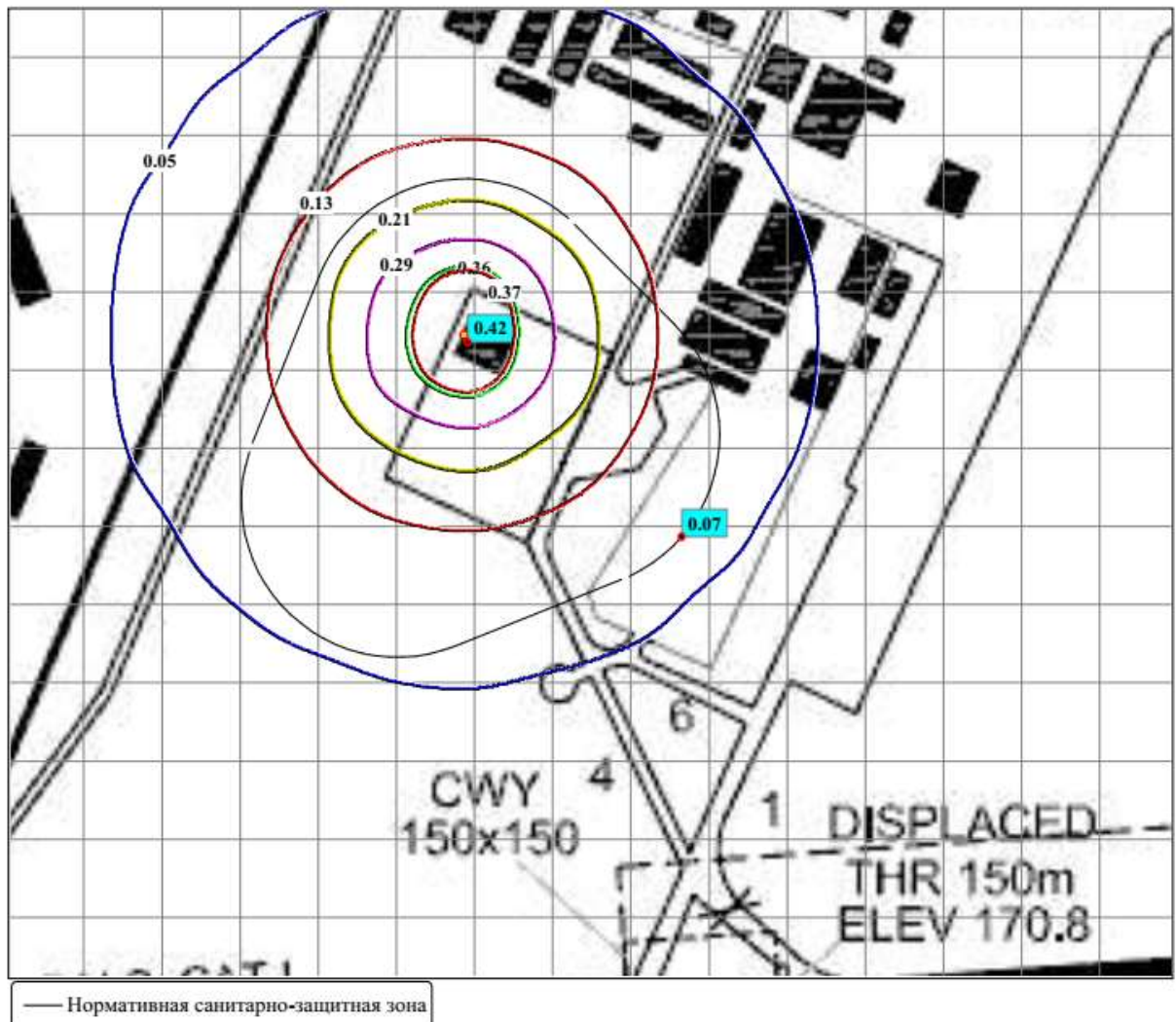


Рис. 3.5 – Нормативна та розрахункова санітарно захисна зона (пари бензину), з урахуванням рози вітрів у випадку звичайної експлуатаційної ситуації на складі ПММ

Обчислені концентрації парів бензину не порушують вимоги нормативної санітарно-захисної, рис.3.5.

Перевищення встановлених нормативів районі житлової забудови та ділянок громадських установ, рекреаційних зон не очікується.

3.3 Розрахунок викидів та концентрацій забруднюючих речовин від складу ПММ за умов надзвичайної ситуації (руйнування резервуару з гасом та бензином)

Серед об'єктів інфраструктури аеропорту склади ПММ займають особливе місце, оскільки руйнування цього об'єкту може спричинити техногенну катастрофу з серйозними наслідками для довкілля та населення довколишніх житлових районів. Для КП МА «Київ» зазначений потенційний ризик вкрай актуальний, оскільки склад ПММ знаходиться на відстані 1 км від найближчої житлової забудови. Наразі триває війна між Україною та РФ, отже ймовірність руйнування резервуарів складу ПММ (атака безпілотниками або балістична зброя) та ризик надзвичайної ситуації для мешканців довколишніх районів зростає.

Саме з урахуванням поточних військових викликів було розглянуто сценарій руйнування резервуару з бензином на складі ПММ КП МА «Київ». Внаслідок аварії було пролито 15 000 л бензину. За методикою Федерального Агентства Цивільної Авіації США, EDMS 3.2 обчислені секундні викиди забруднюючих речовин, які утворюються внаслідок загорання розлитого бензину, табл. 3.9. Час надзвичайної ситуації складав 5 годин.

Таблиця 3.9 – Результати обчислених секундних викидів забруднюючих речовин, які утворюються внаслідок загорання розлитого бензину

Джерело викидів	СО		НС		NO _x		PM ₁₀	
	г/сек	т/рік	г/сек	т/рік	г/сек	т/рік	г/сек	т/рік
Неорганізоване площадне (розлитий бензин на території ПММ)	12,0	0,045	7,0	0,14	2,0	0,036	4,0	0,17

Розглянутий аварійний кейс відповідає забрудненню атмосферного повітря від неорганізованого площадного джерела викидів.

Визначення доцільності виконання розрахунку розсіювання для розглянутого кейсу обґрунтовано згідно «Методиці розрахунків концентрацій в атмосферному повітрі шкідливих речовин, що утримуються у викидах підприємств. ОНД-86» (п. 5.21), відповідно до якого розглядаються окремі забруднюючі речовини, що викидаються, для яких:

$$M/ГДК > \Phi, \text{ де } \Phi = 0.01 * H \text{ при } H > 10\text{м}, \Phi = 0.1 \text{ при } H \leq 10\text{м}$$

Результати доцільності виконання розрахунків розсіювання забруднюючих речовин від неорганізованого стаціонарного джерела приведені в таблиці.

Таблиця 3.10 – Обґрунтування доцільності розрахунку розсіювання викидів забруднюючих речовин внаслідок аварійного кейсу на складі ПММ

№	Код ЗР	Найменування забруднюючої речовини	ГДК _{м.р.} мг/куб. м	Потужність викиду, г/сек	М/ГДК	Значення, Φ	Ознака
1	301	Діоксид азоту	0,200	2,0	10	0,1	ТАК
2	337	Оксид вуглецю	5,0	12,0	2,4	0,1	ТАК
3	2754	Вуглеводні С12-С19	1,0	7,0	7	0,1	ТАК
	2909	Зважені частки	0,5	4,0	8	0,1	ТАК

Отже, розрахунок розсіювання викидів забруднюючих речовин в атмосферному повітрі під час аварійної ситуації на складі ПММ (руйнування резервуару з бензином та згорання розлитого палива) та оцінки їх впливу на місцеву якість повітря на прилеглих територіях аеропорту за методикою ОНД-

86 є доцільним для діоксиду азоту, оксиду вуглецю, вуглеводнів, зважених часток.

З метою дослідження та оцінки рівнів забруднення атмосферного повітря внаслідок аварійної ситуації на складі ПММ було виконано розрахунок поля максимально – разової концентрації діоксиду азоту, оксиду вуглецю, вуглеводнів, зважених часток на приаеродромній території за методикою ОНД-86 [34] з урахуванням рози вітрів. Розміри сітки приймачів становили 6 км за шириною та 6 км за довжиною, з кроком 50 м.

Обчислені максимальні концентрації діоксиду азоту, оксиду вуглецю, вуглеводнів, зважених часток **значно перевищують** рівень ГДК, табл.2.3.

Таблиця 3.11 – Максимальні концентрації забруднюючих речовин в атмосферному повітрі внаслідок аварійної ситуації на складі ПММ (руйнування резервуару з бензином та згорання розлитого палива)

№	ЗР	Клас небезпеки	Джерело викидів	Максимальна концентрація, C_M , мг/м ³ (долі ГДК)	Відстань на якій формується C_M , X_M , м
1	Діоксид азоту	4	Неорганізоване площадне (розлитий бензин на території ПММ)	77,1477	11,45
2	Оксид вуглецю	4	Неорганізоване площадне (розлитий бензин на території ПММ)	321,449	11,45
3	Вуглеводні C12-C19	4	Неорганізоване площадне (розлитий бензин на території ПММ)	225,01	11,45
4	Зважені частки	4	Неорганізоване площадне (розлитий бензин на території ПММ)	257,0	11,45

Обчислені контури максимально-разової концентрації оксидів азоту були нанесені на генплан аеродрому КП МА «Київ», рис. 3.6.

Максимальні концентрації оксидів азоту перевищують рівень ГДК_{МР} в 50 разів, концентрація спадає до рівня 1ГДК на відстані 1060 м.

Розрахункова санітарно-захисна зона значно порушує кордони нормативної санітарно-захисної зони в усіх напрямках вітру, що передбачає негативний вплив на якість повітря, як на прилеглий території житлових районів у північно – західному напрямку (очікується перевищення в 2 рази), так й на території аеродрому у південно-східному напрямку (перевищення у 5 разів), рис.3.7.

Таблиця 3.12 – Максимальні величини обчислених концентрацій оксиду азоту для восьми румбів напрямку вітру

№ приймача	Координати приймача, м		Напрямок вітру	Швидкість вітру	Концентрація доля ГДК
	Х	У			
1	-1350	500	34 (ПС)	0,5	58,71
2	-1400	500	81 (С)	0,5	54,16
3	-1450	500	147 (ПдС)	0,5	52,17
4	-1450	550	95 (ССПд)	0,5	46,66
5	-1350	450	342 (ЗЗПн)	0,5	41,78
6	-1450	450	198 (ПдЗ)	0,5	40,272
7	-1450	400	270 (З)	0,5	38,95
8	-1400	400	315 (ЗПн)	0,5	36,78

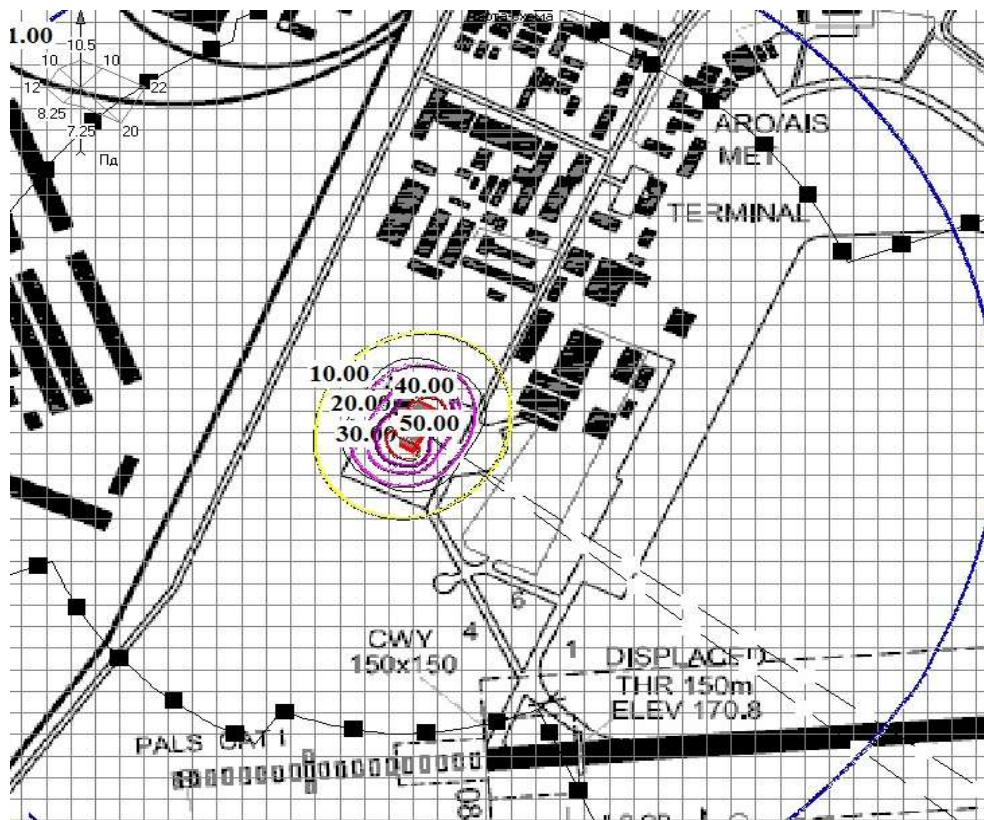


Рис. 3.6. – Поле максимально-разової концентрації оксидів азоту внаслідок аварійної ситуації на складу ПММ з урахуванням річної рози вітрів

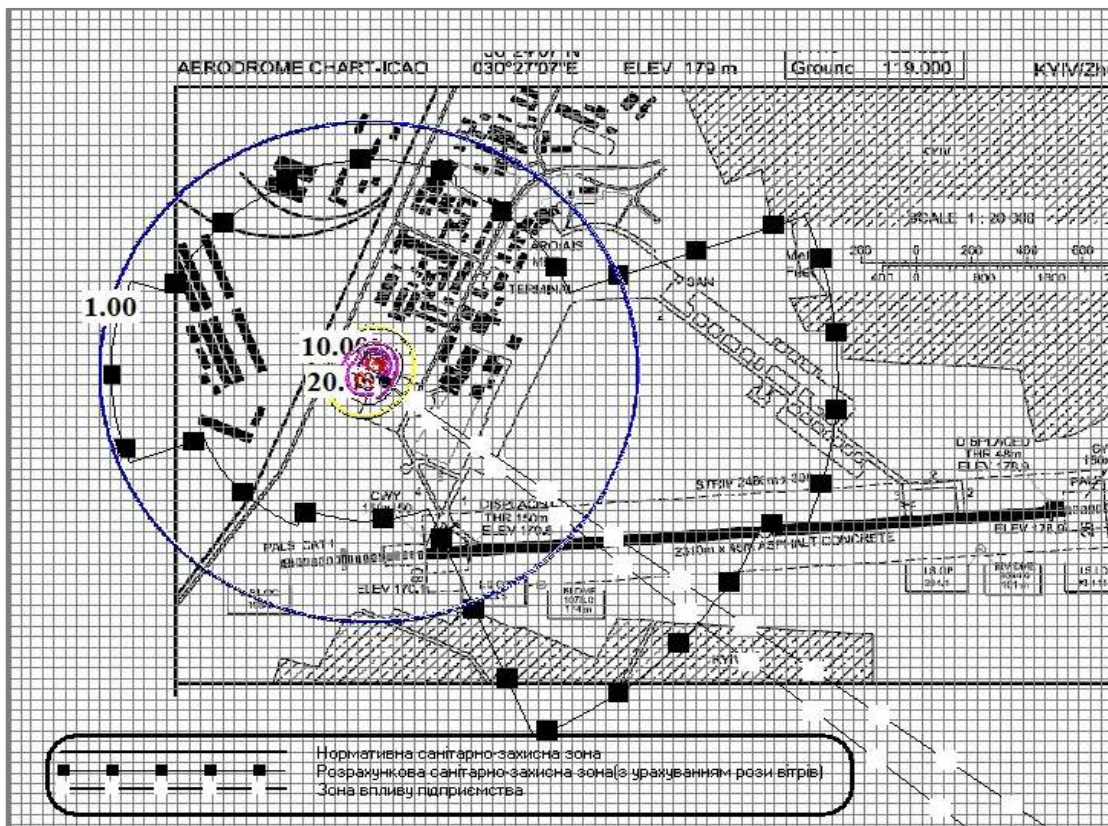


Рис. 3.7 – Нормативна та розрахункова санітарно захисна зона (діоксид азоту),

з урахуванням рози вітрів у випадку аварійної ситуації на складі ПММ

Обчислені контури максимально-разової концентрації оксиду вуглецю були нанесені на генплан аеродрому КП МА «Київ», рис.3.8.

Максимальні концентрації оксиду вуглецю перевищують рівень ГДК_{МР} в 11 разів, концентрація спадає до рівня 1ГДК на відстані 1272 м.

Розрахункова санітарно-захисна зона значно порушує кордони нормативної санітарно-захисної зони в усіх напрямках вітру (табл.3.13), що передбачає негативний вплив на якість повітря, як на прилеглий території житлових районів у північно – західному напрямку (очікується перевищення в 3 рази), так й на території аеродрому у південно-східному напрямку (перевищення у 5 разів), рис.3.9.

Таблиця 3.13 – Максимальні величини обчислених концентрацій оксиду вуглецю для восьми румбів напрямку вітру

№ приймача	Координати приймача, м		Напрямок вітру	Швидкість вітру	Концентрація доля ГДК
	Х	У			
1	-1350	500	34 (ПС)	0,5	14,09
2	-1400	500	81 (С)	0,5	12,52
3	-1450	500	147 (ПдС)	0,5	8,82
4	-1450	550	95 (ССПд)	0,5	10,02
5	-1350	450	342 (ЗЗПн)	0,5	9,66
6	-1450	450	198 (ПдЗ)	0,5	11,96
7	-1450	400	270 (З)	0,5	13,00
8	-1400	400	315 (ЗПн)	0,5	9,34

Обчислені контури максимально-разової концентрації вуглеводнів були нанесені на генплан аеродрому КП МА «Київ», рис.3.10.

Максимальні концентрації вуглеводнів перевищують рівень ГДК_{МР} в 32 разів, концентрація спадає до рівня 1ГДК на відстані 800 м.

Розрахункова санітарно-захисна зона значно порушує кордони нормативної санітарно-захисної зони в усіх напрямках вітру (табл.3.14), що передбачає негативний вплив на якість повітря, як на прилеглий території житлових районів у північно – західному напрямку (очікується перевищення в 2 рази), так й на території аеродрому у південно-східному напрямку (перевищення у 5 разів), рис.3.11.

Таблиця 3.14 – Максимальні величини обчислених концентрацій вуглеводнів для восьми румбів напрямку вітру

№ приймача	Координати приймача, м		Напрямок вітру	Швидкість вітру	Концентрація доля ГДК
	Х	У			
1	-1350	500	34 (ПС)	0,5	41,10
2	-1400	500	81 (С)	0,5	37,91
3	-1450	500	147 (ПдС)	0,5	36,51
4	-1450	550	95 (ССПд)	0,5	34,89
5	-1350	450	342 (ЗЗПн)	0,5	32,66
6	-1450	450	198 (ПдЗ)	0,5	30,84
7	-1450	400	270 (З)	0,5	29,25
8	-1400	400	315 (ЗПн)	0,5	28,19

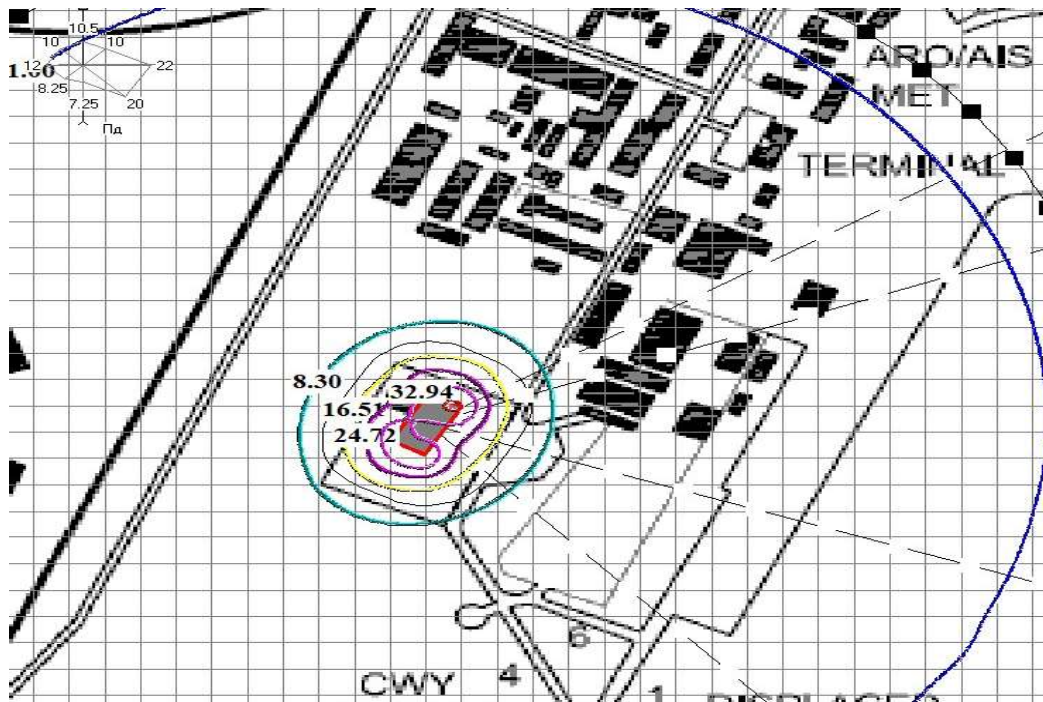


Рис. 3.10 – Поле максимально-разової концентрації вуглеводнів внаслідок аварійної ситуації на складі ПММ з урахуванням річної рози вітрів

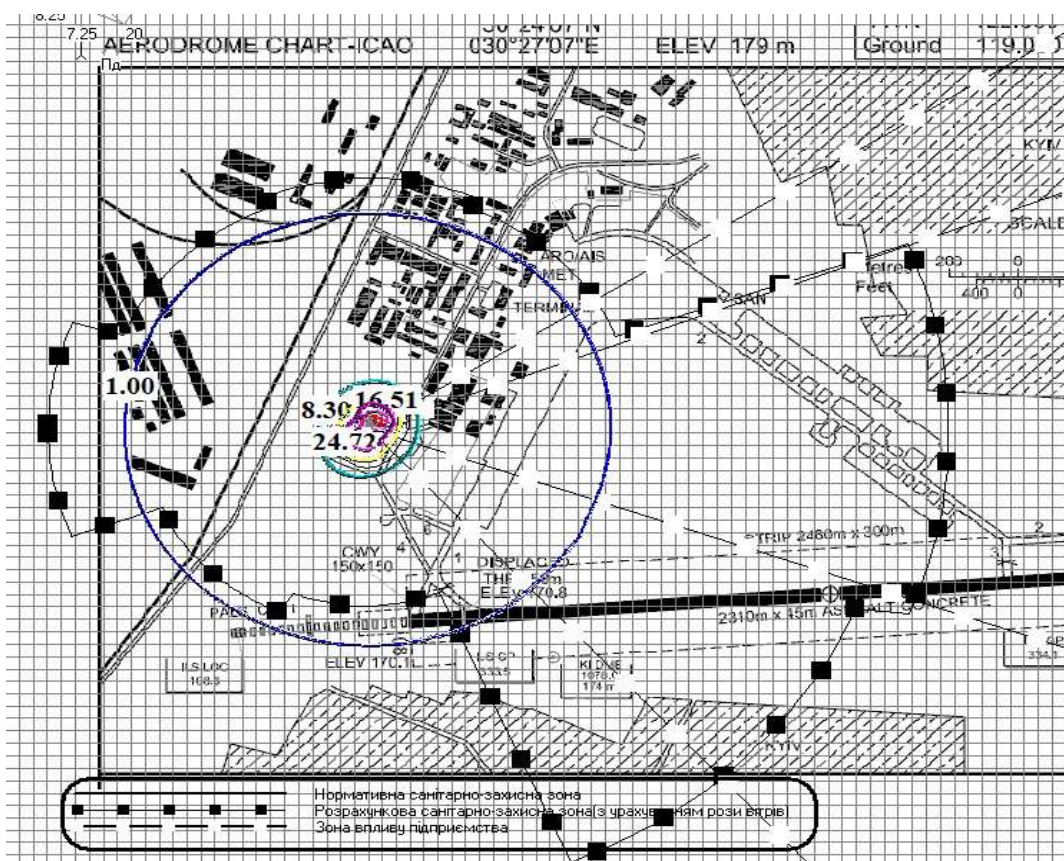


Рис.3.11 – Нормативна та розрахункова санітарно захисна зона (вуглеводнів), з урахуванням рози вітрів у випадку аварійної ситуації на складі ПММ

Обчислені контури максимально-разової концентрації зважених часток були нанесені на генплан аеродрому КП МА «Київ», рис.3.12

Максимальні концентрації зважених часток перевищують рівень ГДК_{МР} в 37 разів, концентрація спадає до рівня **1ГДК** на відстані 1166 м.

Розрахункова санітарно-захисна зона значно порушує кордони нормативної санітарно-захисної зони в усіх напрямках вітру (табл), що передбачає негативний вплив на якість повітря, як на прилеглий території житлових районів у північно – західному напрямку (очікується перевищення в 2 рази), так й на території аеродрому у південно-східному напрямку (перевищення у 5 разів), рис.3.13.

Таблиця 3.15 – Максимальні величини обчислених концентрацій зважених часток для восьми румбів напрямку вітру

№ приймача	Координати приймача, м		Напрямок вітру	Швидкість вітру	Концентрація доля ГДК
	Х	У			
1	-1350	500	34 (ПС)	0,5	46,97
2	-1400	500	81 (С)	0,5	43,33
3	-1450	500	147 (ПдС)	0,5	41,73
4	-1450	550	95 (ССПд)	0,5	39,88
5	-1350	450	342 (ЗЗПн)	0,5	37,33
6	-1450	450	198 (ПдЗ)	0,5	35,24
7	-1450	400	270 (З)	0,5	33,43
8	-1400	400	315 (ЗПн)	0,5	32,21

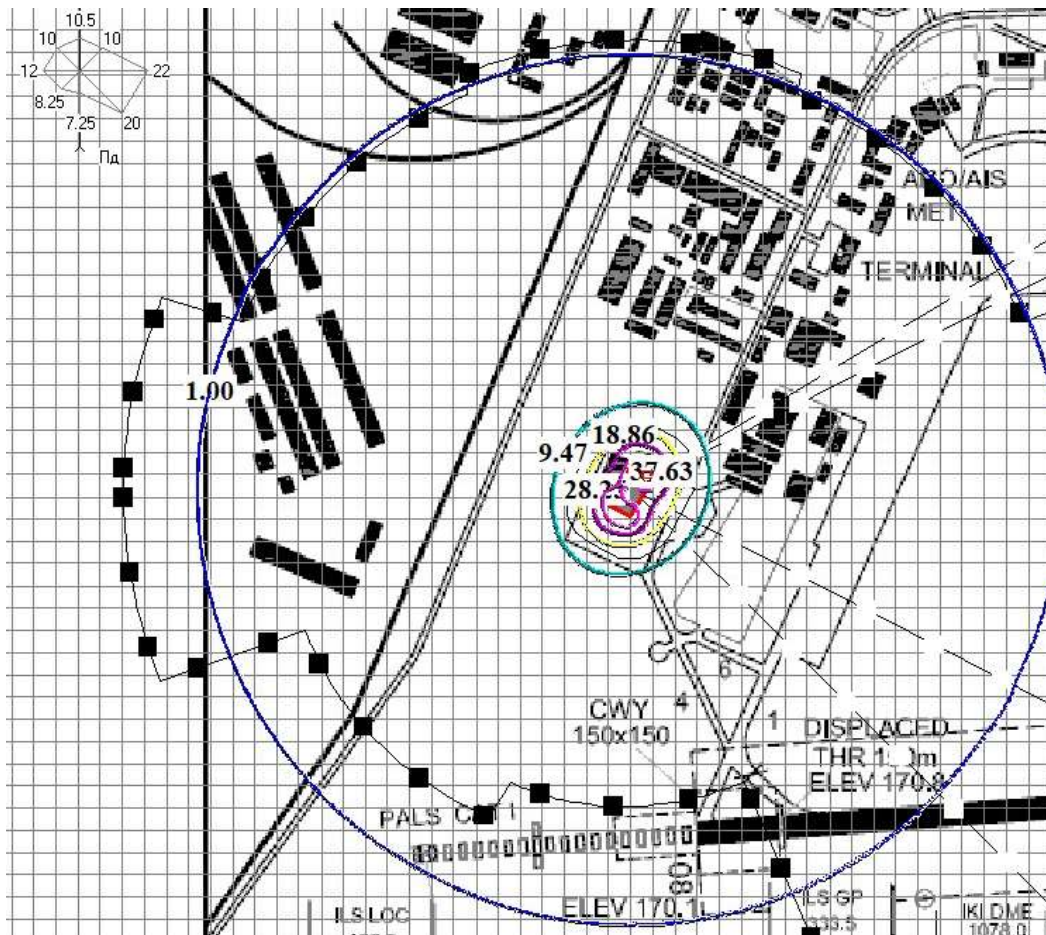


Рис. 3.12 – Поле максимально-разової концентрації зважених часток внаслідок аварійної ситуації на складу ПММ з урахуванням річної рози вітрів

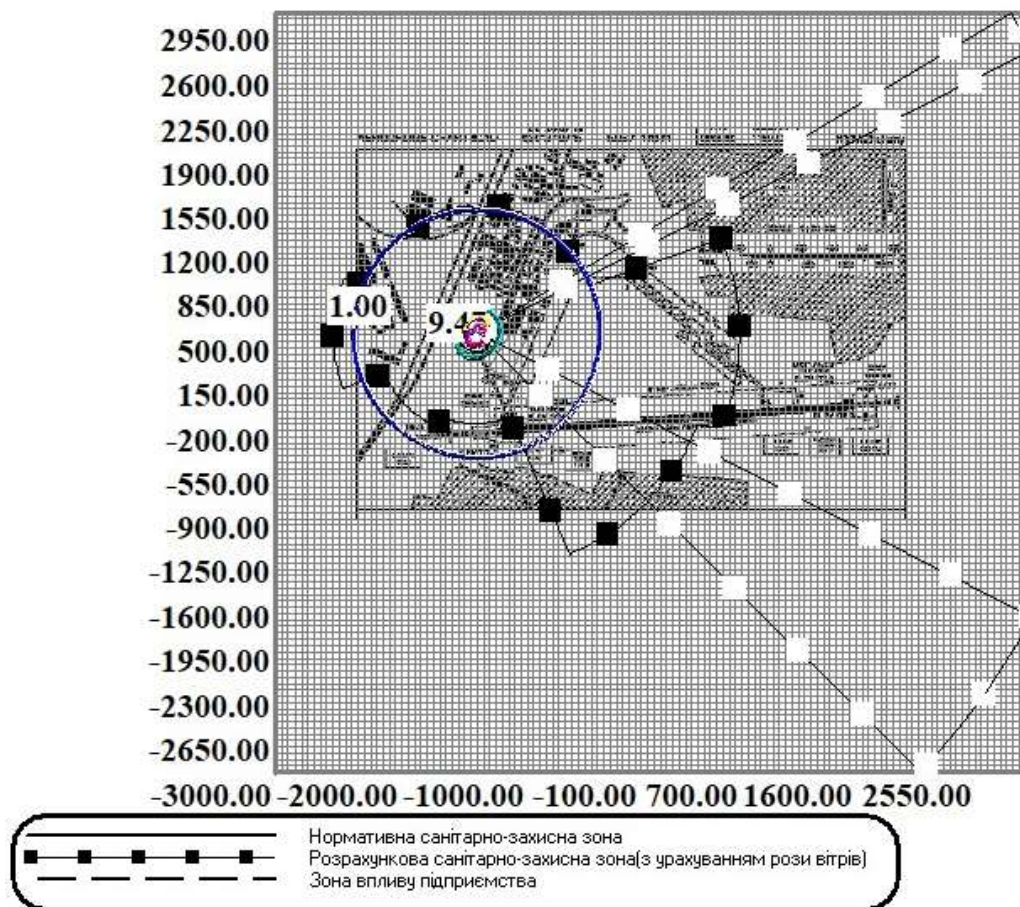


Рис.3.13 – Нормативна та розрахункова санітарно захисна зона (зважених часток), з урахуванням рози вітрів у випадку аварійної ситуації на складі ПММ

Аналіз поля концентрацій забруднюючих речовин та розміру розрахункової санітарно захисної зони дозволяють виявити *зону впливу* складу ПММ на якість атмосферного повітря на приаеродромній території. Рис.3.6-3.13 демонструють зону впливу, що зорієнтована за превалюючим напрямом вітру (переважно північно-західним), що характеризується сталим рівнем забруднення й створює певну загрозу для безпеки польотів, зокрема зважені частки можуть спричинити погіршення видимості, а також деструктивно вплинути на авіадвигун або стати причиною фотохімічного смогу (вторинне забруднення атмосферного повітря).

4. РЕКОМЕНДАЦІЇ З ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ СЕЛЬБИЩНИХ ЗОН У ПРИЛЕГЛІЙ ТЕРИТОРІЇ АЕРОПОРТУ

З метою забезпечення оптимальних умов життєдіяльності людини в районах житлової забудови, масового відпочинку і оздоровлення населення, при визначенні місць розміщення нових, реконструкції діючих підприємств та інших об'єктів з технологічними процесами, які супроводжуються викидами шкідливих речовин в атмосферу, повинні мати СЗЗ, створені відповідно до вимог пп. 5.4-5.10 ДСП 173-96 [7].

У санітарно-захисних зонах не можна допускати розміщення:

- ✓ житлових будинків та прибудинкові території, гуртожитків, готелів, будинків для приїжджих, аварійних селищ;
- ✓ дитячих дошкільних закладів, загальноосвітніх шкіл, лікувально-профілактичних та оздоровчих установ загального та спеціального призначення зі стаціонарами, наркологічних диспансерів, спортивних споруд, садів, парків, садівницьких товариств;
- ✓ охоронних зон джерел водопостачання, водозабірних споруд та споруд водопровідної розподільної мережі.

Не допускається використання для вирощування сільськогосподарських культур, пасовищ для худоби земель санітарно-захисної зони підприємств, що забруднюють навколишнє середовище високотоксичними речовинами та речовинами, що мають віддалену дію (солі важких металів, канцерогенні речовини, діоксини, радіоактивні речовини та ін.). Можливість сільськогосподарського використання земель санітарно-захисних зон, що не забруднюються вище переліченими речовинами, необхідно визначати за погодженням з територіальними органами Мінсільгоспроду і Міністерства охорони здоров'я України.

У санітарно-захисній зоні допускається розташовувати:

- ✓ пожежні депо, лазні, пральні, гаражі, склади (крім громадських та спеціалізованих продовольчих), будівлі управлінь,

конструкторських бюро, учбових закладів, виробничо-технічні училища без гуртожитків, магазини, підприємства громадського харчування, поліклініки, науково-дослідні лабораторії, пов'язані з обслуговуванням даного та прилеглих підприємств;

- ✓ приміщення для чергового аварійного персоналу та добової охорони підприємств за встановленим списочним складом, стоянки для громадського та індивідуального транспорту, місцеві та транзитні комунікації, ЛЕП, електростанції, нафто- і газопроводи, свердловини для технічного водопостачання, водоохолоджуючі споруди, споруди для підготовки технічної води, каналізаційні насосні станції, споруди оборотного водопостачання, розсадники рослин для озеленення підприємств та санітарно-захисної зони.

Слід підкреслити, що розміри СЗЗ для об'єктів критичної інфраструктури повинні враховувати ризики надзвичайних ситуацій та наслідки для мешканців довколишніх районів. Результати розрахунків для складу ПММ демонструють, що розміри розрахункової СЗЗ, яка базується на результатах оцінки рівнів забруднення атмосферного повітря значно перевищує розміри нормативної СЗЗ (у середньому в 5-8 разів).

Отже, урахування аварійних ситуацій в частині впливу на якість атмосферного повітря є важливою складовою в обґрунтуванні збільшення розміру СЗЗ для об'єктів критичної інфраструктури, що передбачається чинним законодавством, відповідно до ДСП 173-96 [26].

Коригування розміру СЗЗ для об'єктів критичної інфраструктури на базі моделювання та прогнозування рівнів забруднення атмосферного повітря для різних аварійних кейсів дозволяє вдосконалити комплекс заходів захисту населення прилеглих житлових територій, в частині:

- своєчасна організація аварійно-рятувальних та протипожежних заходів території аеродрому;

- забезпечення та використання засобів колективного і індивідуального захисту у випадку надзвичайних ситуацій техногенного характеру;
- оперативна евакуація населення із зон надзвичайних ситуацій техногенного характеру усіма видами наявного транспорту по заздалегідь розроблених маршрутах;
- своєчасного надання медичної допомоги постраждалим та їх лікування, забезпечення епідемічного благополуччя в зонах надзвичайних ситуацій техногенного характеру.

Отже, коригування нормативної СЗЗ є актуальним завданням в частині підвищення безпеки прилеглих сельбищних територій.

ВИСНОВКИ

1. Проаналізовано несприятливий впливу процесів, характерних для експлуатації об'єктів цивільної авіації, на стан здоров'я людини. Виконано аналіз результатів обчислень викидів стаціонарних та пересувних джерел та їх внеску до локального і регіонального забруднення атмосферного повітря. Обґрунтовано доцільність організації моніторингу для реалізації стратегії регулювання якості атмосферного повітря в зоні аеропорту (вдосконалення процедур інвентаризації викидів, санітарно-гігієнічного контролю повітря, розрахунку та обґрунтування розміру СЗЗ аеропорту). Розглянуто світовий досвід в частині заходів щодо скорочення негативного впливу стаціонарних та пересувних джерел на якість атмосферного повітря.

2. Досліджено основні системи моделювання для обчислення викидів та концентрацій забруднення атмосферного повітря з урахування рекомендованої практики ІКАО. Представлено основні елементи нормативної методики ОНД-86, яка визначає розмір санітарно-захисної зони (СЗЗ) аеропорту на підґрунті розрахунків для стаціонарних джерел викидів.

3. Виконано обчислення викидів та концентрацій забруднюючих речовин від складу ПММ за звичайних (до військових подій) умов експлуатації (заправка резервуара та зберігання палива). Обґрунтовано розмір СЗЗ на підставі виконаних розрахунків, з урахуванням річної рози вітрів.

4. Виконано обчислення викидів та концентрацій забруднюючих речовин від складу ПММ за умов надзвичайної ситуації (руйнування резервуару з бензином та загорання на складі ПММ). Розміри розрахункової СЗЗ, яка базується на результатах обчислень забруднення атмосферного повітря значно перевищує розміри нормативної СЗЗ (у середньому 5-8 разів)

5. Урахування аварійних ситуацій в частині впливу на якість атмосферного повітря є важливою складовою в обґрунтуванні збільшення розміру СЗЗ для об'єктів критичної інфраструктури, що дозволяє вдосконалити комплекс заходів захисту населення прилеглих житлових територій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Naugle D. F., Fox D. L. Aircraft and air pollution. – Environmental science@Technology, 1981. – №15(4). – P. 391–395.
2. Annex 16 to the Convention on International Civil Aviation. Vol. II: Aircraft engine emissions. – ICAO, 1993. – 2nd ed. – 249 p.
3. Запорожец А.И., Страхолес В.В. Оценка концентраций загрязнения воздуха выбросами вредных веществ от турбовинтовых двигателей; Средства управления охраной труда и окружающей среды на предприятиях гражданской авиации: Сб. науч. тр. – Киев: КИИГА, 1993. – С.59–62.
4. Запорожец А.И., Страхолес В.В., Токарев В.И. Расчет масс выброса вредных веществ и концентраций загрязнения воздуха в районе аэропорта; Состояние и перспективы работ по охране окружающей среды в гражданской авиации: Тез. док. 3-ей НТК. – М.: ВДНХ, ГосНИИГА, 1991. – С.18–20.
5. Umweltbericht. Umwelterklärung 2008 mit Umweltprogramm bis 2011 für den Standort Flughafen Frankfurt Main. – Fraport AG; 2008. – S.100–104.
6. Health Aspects of Air Pollution. Final report 2003. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.euro.who.int/document/E79097.pdf 93
7. Health Aspects of Air Pollution. Review, 2004. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.euro.who.int/document/E83080.pdf 94
8. Запорожець О. І. Оцінювання забруднення атмосферного повітря на території та за межами аеропорту – Вісник НАУ. – 2008. – № 3. – С.121–125.
9. Шандала М.Г. Научные основы гигиенической оценки и регламентации физических факторов окружающей среды / М.Г. Шандала // Гигиена и санитария, 1989. – № 10. – С.4–8.

10. Air quality and health. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/en/index.html>.
11. Herndon S., Jayne J. NO and NO₂ Emission ratios measured from in-use commercial aircraft during taxi and take-off – Environ. Sci. Technol. – 2004. – P.6078–6084. 37
12. Hoolhorst A., Beukenhost O., Brok P. Options to reduce aircraft emissions impact in the airport environment – ECATS working paper, 2008. 38
13. Mann R.E. The Design of Environmental Monitoring Systems. – Progress in Physical Geography. – 1980. – V.4 –P. 567–576.
14. Annex 16 to the Convention on International Civil Aviation. Vol. II: Aircraft engine emissions. – ICAO, 1993. – 2nd ed. – 249 p.
15. Манн Р. Вторжение в природную среду – М.: Прогресс, 1983. – 192 с. 30
16. Сидоренко Г.И. Гигиена окружающей среды / Г.И. Сидоренко. – М.: Медицина, 1975. – 144 с.
17. Закон України «Про охорону атмосферного повітря» від 16.10.1992 № 2707-XII// Відомості Верховної Ради України. – 1992. – № 50. – ст.678.
18. Directive 2008/50/EC of the European Parliament and the council of 21 May 2008 on ambient air quality and cleaner air for Europe. – L 152. – 2002. – 44 p.
19. ICAO Doc 9889. Airport Air Quality. – 1st ed. – 2011. – 200 p.
20. Повітряний кодекс України від 19.05.2011 № 3393-VI // Відомості Верховної Ради України. – 2011. – № 48-49. – С.536.
21. ICAO Doc 9184. Airport Planning Manual. Land Use and Environment Control. – Third Edition. –Part2 – 2002. – 124 p.
22. Закон України "Про охорону навколишнього природного середовища", 25.06.1991р. 4

23. Закон України «Про охорону атмосферного повітря» від 16.10.1992 № 2707-XII// Відомості Верховної Ради України. – 1992. – № 50. – ст.678.

24. ЗУ «Про оцінку впливу на довкілля» № 2059-19 від 23.05.2017 // <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/ru/2059-19/ed20201201/sp:max15> [5] 6

25. ЗУ «Про регулювання містобудівної діяльності» № 3038-VI від 17.02.2011 // <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3038-17> [6]

26. Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів № 173 від 19 червня 1996 р. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу:

27. ПКМУ від 13 грудня 2001 р. N 1655 « Про Порядок ведення державного обліку в галузі охорони атмосферного повітря»;

28. ПКМУ від 29 листопада 2001 р. N 1598 Про затвердження переліку найбільш поширених і небезпечних забруднюючих речовин, викиди яких в атмосферне повітря підлягають регулюванню;

29. Наказ Міністерства охорони навколишнього природного середовища України від 14.01.2020 № 52 «Про затвердження гігієнічних регламентів допустимого вмісту хімічних і біологічних речовин в атмосферному повітрі населених місць»

30. Методика расчета концентрации в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. ОНД-86. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 97 с.

31. Annex 16 to the Convention on International Civil Aviation. Vol. II: Aircraft engine emissions. – ICAO, 1993. – 2nd ed. – 249 p.

32. Annex 16 to the Convention on International Civil Aviation. Vol. III: Aeroplane CO2 emissions. - Montreal: ICAO, Vol. III, 2017;

33. ICAO Doc 9501. Environmental Technical Manual. Volume III — Procedures for the CO2 Emissions Certification of Aeroplanes First Edition, 2018;

34. ICAO Doc 9646-AN/943. Engine Exhaust Emissions Databank;

35. Annex 16 to the Convention on International Civil Aviation. Vol. IV: Aeroplane CO₂ emissions. - Montreal: ICAO, Vol. III, 2017;
36. ICAO Circular 303. Operational opportunities to minimize fuel use and reduce emissions
37. ICAO Circular 351. Community Engagement for Aviation Environmental Management, 2017
38. Environmental Statement 2005. Environmental Protection and Management at Frankfurt Main Airport. – Fraport AG, 2005. – 55–59 p.
39. Lufthygienischer Jahresbericht 2005. – Fraport AG, 2005. – P.1–8.
40. TA Luft, 2002: Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft) 24.06.2002. –GMBI, 2002. – Heft 25-29 – S.511–605.
41. Fleuti E., Hofmann P. Air Pollution Monitoring at Zurich Airport – Unique (Flughafen Zurich AG), 2005. – 22 p.
42. Duchene N. Airport Local Air Quality Studies Emission Inventory for Zurich Airport with different methodologies – EUROCONTROL EEC/SEE document. – 2004. – 42 p. – [Report].
43. BAA Corporate Responsibility Report 2008. – BAA Limited, 2007. – 38 p. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.heathrowairport.com/static/Heathrow/Downloads/PDF/baa-corporate-responsibility-report-2008.pdf> 67
44. Lidar Observations of Aircraft Exhaust Plumes / A. Graham, D. Raper, M. Bennett, S.Christie, C.Oppenheimer, V. Tsanev. – Journal of Atmospheric and Oceanic technology, MMU. – 2010 – VOLUME 27. – P.1638–1651. 110
45. ПКМУ «Деякі питання здійснення державного моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря»

46. Air Travel-Greener by Design, Mitigating the Environmental Impact of Aviation: Opportunities and Priorities, Report of the Greener by Design Science and Technology Sub-Group, Published by the Royal Aeronautical Society. – July 2005
47. Aviation an the global atmosphere, a special report of the IPCC Working Groups I and III, International Panel on Climate Change, 1999
48. Алиев Р.А., Церковный А.Э., Мамедова Г.А. Управление производством при нечеткой исходной информации. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 240 с.
49. CRYOPLANE, Liquid Hydrogen Fuelled Aircraft - System Analysis, Airbus Deutschland, September 2003
50. Operational opportunities to minimize fuel use and emissions, ICAO circular 303, February 2004
51. Aircraft Engine Emission Reduction Programme Zurich Airport, Unique, 2005 171
52. Emanuel Fleuti, Peter Hofmann, Aircraft APU emissions at Zurich Airport, Unique (Flughafen Zurich AG), January 2005 173
53. Janicke U. LASPORT version 1.3 Reference Bookю – Janicke Consulting, November 2005. – 93 p.
54. Emissions and Dispersion Modelling System (EDMS). User's Manual. FAA-AEE-01-01. Prepared for U.S. Department of Transportation Federal Aviation Administration Washington, D.C. – Washington, D.C:CSSI, Inc., 2007. – 141 p.
55. Zaporozhets O. Monitoring and modeling of air pollution produced by aircraft engine emissions inside the Athens International Airport – Вісник НАУ. – 2009. – №4. – С.59–64.
56. Zaporozhets O. POLEMICA – tool for air pollution and aircraft engine emission assessment in airport / O. Zaporozhets, K. Synylo // The Second World

Congress “Aviation in the XXI-st century”. – Kyiv: National Aviation University, 2005. – P.4.22–4.28.

57. Zaporozhets O., *Synylo K.* The main concepts of the POLEMICA technique for stationary sources of emission in airports / Proceeding of National Transport University. – 2019. – № 3 (45). – p. 179–191//doi: 10.33744/2308-6645-2019-3-45-179-191

58. Zaporozhets O. *Synylo K.* New and Improved LAQ Models for Assessment of Aircraft Engine Emissions and Air Pollution in and Around Airports // On board a sustainable future: ICAO Environmental Report 2016, International Civil Aviation Organization 999 University Montreal, QC, Canada H3C 5H7, 2016 – 250p, 82-84

59. Сборник методик по расчету выбросов в атмосферу загрязняющих веществ различными производствамию – Ленинград, Гидрометеоиздат, 1986

60. Aircraft emission measurements by remote sensing methodologies at airports / K. Schäfer, C. Jahn, P. Sturm, B. Lechner, M. Bacher. – Atmospheric Environment Journal. – 2003. – Vol.37. – P.5261–5271.

61. Depitre A. Harmonisation with EU norms of the legislation and standards of Ukraine in the field of Civil Aviation TACIS Twinning Ukraine – Kyiv, 2008. – 5p.

62. Development of a data base for airport air quality / K.Schäfer, C. Jahn, H. Hoffmann, C. Helmis, H. Flocas, M. Tombrou, R. Kurtenbach, Wiesen P // ECATS working paper, 2007. – 15 p.

63. Haus R., Schäfer K., Mosebach H. Ein mobiles optisches Fernmeßsystem zur quantitativen Multikomponentenanalyse gasförmiger Spurenstoffe in der Atmosphäre / R. Haus, K. Schäfer, H. Mosebach // Umweltwissenschaften und Schadstofforschung. – 1994. – Nr. 5 – P.254–256.

64. Heland J., Schäfer K. Analysis of aircraft exhausts using FTIR-emissionspectroscopy. – Applied Optics 36. – 1997 – Nr. 21 – P.4922–4931.

65. Heland, J., Schäfer, K. Determination of major combustion products in aircraft exhausts by FTIR emission spectroscopy. – Atmospheric Environment Journal. – 1998– №32, 18. – P.3067–3072.
66. Herndon S., Jayne J. NO and NO₂ Emission ratios measured from in-use commercial aircraft during taxi and takeoff. – Environ. Sci. Technol. – 2004. – P.6078–6084.
67. Hoolhorst A., Beukenhost O., Brok P. Options to reduce aircraft emissions impact in the airport environment – ECATS working paper, 2008.
68. Umweltbericht. Umwelterklärung 2008 mit Umweltprogramm bis 2011 für den Standort Flughafen Frankfurt Main. – Fraport AG; 2008. – S.100–104.
69. *Synylo K., Ulianova K., Zaporozhets O.* Air Quality Studies at Ukrainian Airports. – International Journal of Aviation Science and Technology, Volume 2, Issue 1, 2021, 4-14.
70. *Synylo K.* Strategic environmental management – tool for the implementation SDGs at airport operation. – Proceedings of the Fourteenth International Conference of Science and Technology “AVIA-2021”, April, 20-23, 2021. – p.18.22 – 18.25
71. Синило К. В. Моніторинг викидів авіадвигунів у межах аеропорту – Всеукр. наук.-практ. конф. молодих вчених та студентів «Екологічна безпека держави», 27-28 квіт. 2010 р.: тези доп. – К., 2010. – С.50