

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет магістерської підготовки
Кафедра екологічного права і контролю

Магістерська кваліфікаційна робота

на тему: «Системні підходи до регулювання рівня забруднення
атмосферного повітря промислових міст»

Виконала студентка групи МЕК-19
Спеціальності 101 «Екологія»
Кушнір Віталіна Вікторівна

Керівник зав. навчальної лабораторії
«АРМ-еколога» кафедри екологічного
права і контролю
Грудев Петро Христофорович

Консультант к.геогр.н., доцент
Бургаз Олексій Анатолійович

Рецензент к.геогр.н., доцент
Колісник Алла Вікторівна

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	8
ВСТУП.....	9
1 ПОЛІТИКА УКРАЇНИ ЩОДО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ.....	12
1.1 Загальні принципи екологічної безпеки України.....	12
1.2 Нормативно-правові заходи з охорони атмосферного повітря.....	15
2 СТАТИСТИЧНІ МЕТОДИ АНАЛІЗУ СТАНУ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ.....	22
2.1 Роль атмосферних процесів у формуванні рівня забруднення повітряного басейну міста.....	22
2.2 Методика дослідження статистичної структури часових рядів концентрації інгредієнтів.....	28
2.3 Методика дослідження статистичної структури полів концентрації інгредієнтів.....	36
3 ПЛАНУВАННЯ РІВНЯ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ВЕЛИКОГО ПРОМИСЛОВОГО МІСТА.....	44
3.1 Постановка задачі.....	44
3.2 Побудова системи лінійних обмежень.....	50
3.2.1 Система рівнянь регресії.....	50
3.2.2 Апроксимація полів кореляції інгредієнтів.....	59
3.2.3 Система лінійних обмежень.....	63
4 ВИЗНАЧЕННЯ СИСТЕМНИХ ПІДХОДІВ ДО РЕГУЛЮВАННЯ РІВНЯ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ПРОМИСЛОВОГО МІСТА.....	67
4.1 Завдання функції цілі та формування оптимізаційної задачі.....	67
4.2 Побудова процедури регуляризації.....	70

ВИСНОВКИ.....	72
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	79

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

- ВМО – Всесвітня метеорологічна організація;
- ВР – Верховна Рада України;
- ГДК – гранично-допустима концентрація;
- ДСН – Державні санітарні норми;
- ДСТУ – Державний стандарт України;
- ІЗА – індекс забруднення атмосфери;
- КВП – контрольно-вимірювальний пост;
- КМУ – Кабінет Міністрів України;
- МОЗ – Міністерство охорони здоров'я;
- МУЗ - метеорологічні умови забруднення атмосферного повітря;
- ЧАЕС – Чорнобильська атомна електростанція

ВСТУП

У результаті розвитку цивілізації та інтенсивної виробничої діяльності відбувається збільшення викидів в атмосферне повітря.

На сьогодні актуальною проблемою є забруднення атмосферного повітря великих промислових міст промисловими підприємствами та автотранспортом. Прогнозування стану повітря набуває все більшої актуальності задля покращення екологічного стану в сучасних містах.

В умовах великих промислових міст рівень забруднення атмосферного повітря залежить не тільки від кількості забруднювачів, але й від деяких інших факторів, наприклад, від розсіювання, яке зазвичай визначається метеорологічними умовами.

Оскільки повітряний басейн має найважливіше значення для життя людини, однією із реальних можливостей поліпшення стану атмосферного повітря вже найближчим часом є короткотермінове зниження викидів та концентрацій домішок у періоди несприятливих метеорологічних умов на основі їх короткострокового прогнозу.

Основними показниками забруднення атмосферного повітря є викиди забруднювальних речовин та їх концентрація. Викиди шкідливих речовин в атмосферу від стаціонарних джерел залежать від обсягів виробництва підприємств найбільш екологонебезпечних галузей промисловості, стану житлово-комунального господарства в місті та інших чинників. Вагомий вплив має виконання природоохоронних заходів, оновлення зношеного устаткування, заміна застарілих технологій.

Метою даної кваліфікаційної магістерської роботи є аналіз принципів національної політики України щодо забезпечення екологічної безпеки атмосферного повітря, вивчення ролі атмосферних процесів у формуванні рівня забруднення повітряного басейну великого промислового міста, ознайомлення із статистичними методами аналізу стану забруднення атмосферного повітря,

визначення основних методичних підходів до регулювання рівня забруднення атмосферного повітря великого промислового міста на основі планування рівня такого забруднення.

1 ПОЛІТИКА УКРАЇНИ ЩОДО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ

1.1 Загальні принципи екологічної безпеки України

Україна – одна з найбільших за територією, чисельністю населення та природно-економічним потенціалом держав Європи. На її території зосереджені величезні природні багатства, але суто колонізаторський підхід і безгосподарність призвели не тільки до порушення, а й до руйнування природних ландшафтів. Надмірний розвиток сільського господарства та промисловості зумовила катастрофічне забруднення повітря, водних ресурсів та ґрунту. Сучасні масштаби екологічних змін створили реальну загрозу життю та здоров'ю громадян України, її національній безпеці.

Джерела безпосередньої загрози здоров'ю людини - широке використання в народному господарстві шкідливих хімічних сполук, у першу чергу пестицидів, контроль над використанням яких значною мірою нині втрачено, викиди шкідливих газоподібних відходів в атмосферу міст, погано очищені водні стоки тощо.

Енергонасиченість сучасних промислових об'єктів України колосальна. Зростають потужності промислових комплексів, кількість небезпечних сполук, що в них перебувають. Номенклатура продукції хімічних підприємств складається з тисяч позицій, причому багато продуктів хімічного виробництва надзвичайно токсичні. Багато промислових підприємств представляють собою індустріальні комплекси, де вміщено вузли енергорозподілу, тепло- і газозабезпечення, транспортних магістралей, які, як правило, розташовуються у населених місцях. З іншого боку висока зношеність основних фондів підприємств призводить до великої кількості аварій на промислових об'єктах України та на транспорті.

Зазначені вище обставини, а також наслідки аварії на Чорнобильській АЕС (ЧАЕС) привели до того, що Уряд України почав приділяти велику увагу проблемам екологічної безпеки. Пріоритетність екологічної безпеки, збереження генофонду українського народу, подолання наслідків Чорнобильської катастрофи є обов'язком держави – зазначено в ст. 16 Конституції України від 28.06.1996 р. № 254к/96-ВР[1].

Екологічна безпека в широкому розумінні – це запобігання екологічних загроз, що виявляються у локальних, регіональних і глобальних масштабах, а також екологічних стихій, соціальних криз та техногенних катастроф. Екологічна безпека забезпечується створенням ефективної системи екологічної безпеки нашої держави.

Система екологічної безпеки держави являє собою сукупність державних заходів (правових, економічних, технічних, гуманітарних і медичних), спрямованих на підтримку рівноваги між довкіллям та антропогенним й природним навантаженням.

Визначення сутності екологічної безпеки, пріоритетів державної політики, комплексу заходів щодо її забезпечення зафіксовані в Законі України «Про охорону навколишнього природного середовища» від 25.06.1991 року № 1264-ХІІ – основному законодавчому документі України в сфері охорони природи та природокористування[2]. У відповідності до Закону (ст. 50) екологічна безпека є таким станом навколишнього природного середовища, при якому створюються засоби попередження погіршення екологічної обстановки та виникнення небезпеки для здоров'я людей . Екологічна безпека громадян України гарантується здійсненням широкого комплексу взаємопов'язаних політичних, економічних, технічних, організаційних, державно-правових та інших заходів.

Закон визначає основними принципами охорони довкілля (ст. 3) пріоритетність вимог екологічної безпеки, обов'язковість дотримання екологічних стандартів, нормативів та лімітів використання природних ресурсів при здійсненні виробничої, управлінської, громадської та іншої

діяльності; гарантування екологічно безпечного середовища для життя і здоров'я людей [2].

Важливим нормативним актом програмного характеру в сфері забезпечення екологічної безпеки була Постанова Верховної Ради України «Про основні напрямки державної політики України в сфері охорони навколишнього середовища, використання природних ресурсів і забезпечення екологічної безпеки» від 5.03.1998 р. № 188/98-ВР. Цей документ визначив заходи щодо забезпечення екологічної безпеки в різних сферах народного господарства і встановив систему заходів, спрямованих на створення умов для екологічної безпеки.

Серед цих заходів важливе місце займають правові заборони, екологічне ліцензування, екологічна стандартизація, сертифікація та експертиза, екологічний моніторинг і аудит, екологічне планування, нормування, встановлення лімітів, екологічне страхування [3].

Заходи щодо екологічної безпеки поширюються на всі природні ресурси. Але найбільш значимою є екологічна безпека атмосферного повітря, вкрай важливого для існування і життєдіяльності всіх живих організмів Планети. Тому урядові органи України здійснюють комплекс науково-обґрунтованих соціальних, економічних, санітарно-гігієнічних й інших заходів, які спрямовані на попередження та усунення забруднення атмосферного повітря. Особливе значення приділяється правовим аспектам охорони повітря, які визначаються нормами чинного законодавства.

Правові, організаційні та екологічні вимоги в галузі охорони і використання атмосферного повітря визначені Законом України «Про охорону атмосферного повітря» від 16.10.1992 року № 2707-ХІІ, прийнятим у новій редакції 22.06.2001 року [4]. Закон визначає загальні положення охорони атмосферного повітря, а також регулює питання стандартизації і нормування, дотримання правових вимог при проектуванні, будівництві та реконструкції промислових об'єктів. Значне місце в законі приділено регулюванню відносин при використанні атмосферного повітря, економічному механізму забезпечення

його охорони та контролю, державному обліку й моніторингу якості атмосферного повітря, а також питанням правопорушень щодо атмосферного повітря і відповідальності за них, міжнародним відносинам у галузі охорони повітряного середовища.

Відповідно до цього Закону використання атмосферного повітря здійснюється у двох правових формах - на праві власності і праві використання. З урахуванням природних характеристик атмосферне повітря, як правило, використовується на основі права загального користування. Це стосується й використання його для потреб підприємницької діяльності.

Поряд з цим у Законі «Про охорону атмосферного повітря» допускається можливість використання цього природного ресурсу і в порядку спеціального користування. Використання атмосферного повітря для викиду і розповсюдження забруднюючих речовин вважається спеціальним видом використання атмосферного повітря і потребує отримання дозволу і відповідної плати. Спеціальним видом використання атмосферного повітря є також поширення звуку, електромагнітного та іонізуючого випромінювання, вплив інших фізичних та біологічних чинників на атмосферне повітря.

Право користування атмосферним повітрям у виробничих цілях за наявності підстав може бути обмеженим, а при необхідності й скасованим у встановленому порядку. В цілому, Закон передбачає систему правових заходів: дозвільного, попереджувального (превентивного), контрольного, стимулюючого характеру (заохочення й відповідальність), поновлювального (відтворювального), заборонного характеру[4].

Норми щодо охорони атмосферного повітря містяться в інших спеціалізованих правових актах. Зокрема, встановлення вимог щодо охорони навколишнього природного середовища як важливої передумови життя і здоров'я людини, встановлення єдиних санітарно-гігієнічних вимог до планування і забудови населених пунктів, очистки і знешкодження промислових і комунально-побутових викидів визначено Законом України «Основи законодавства України про охорону здоров'я» від 19.11.1992 р. №

2801-ХІІ [5]. Забезпечення екологічної безпеки при здійсненні планування та забудови територій визначено в Законі України «Про основи містобудування» від 16.11.1992 р. № 2780-ХІІ[6]. Гігієнічні вимоги до атмосферного повітря в населених пунктах, повітря у виробничих та інших приміщеннях визначаються в Законі України «Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення» від 24.02.1994р. №4004-ХІІ[7]. Вимоги до охорони атмосферного повітря в процесі експлуатації транспортних засобів - в Законах України «Про транспорт» від 10.11.1994 р. № 232/94-ВР та «Про автомобільний транспорт» від 5.04.2001 р. № 2344-ІІІ[8].

У національному екологічному законодавстві здійснюється диференціація правового регулювання екологічною безпекою за принципом розмежування джерел екологічної небезпеки[9]. Виділяються спеціальні сфери дії законодавства про екологічну безпеку: правові міри запобігання ядерної і радіаційної небезпеки, правове регулювання поводження з токсичними речовинами і відходами, правовий захист від шкідливого біологічного впливу, правове регулювання застосування пестицидів і агрохімікатів, правовий захист від шкідливого електромагнітного випромінювання, правовий захист від шуму і вібрації, організаційно-правові заходи, які застосовуються в надзвичайних екологічних ситуаціях тощо.

Заходи щодо екологічної безпеки поширюються на всі природні складові без винятку, однак екологічна безпека атмосферного повітря – цього життєво важливого для існування і життєдіяльності усіх живих організмів планети природного компонента представляється найбільш значимою.

1.2 Нормативно-правові заходи з охорони атмосферного повітря

Ключовими нормативно-правовими актами у сфері охорони атмосферного повітря є постанови та розпорядження Кабінету Міністрів України (КМУ). Важлива роль в забезпеченні охорони атмосферного повітря належить державній системі моніторингу якості довкілля - система

спостережень, збирання, оброблення, передавання, зберігання та аналізу інформації про стан довкілля, прогнозування його змін і розроблення науково обґрунтованих рекомендацій для прийняття рішень про запобігання негативним змінам стану довкілля та дотримання вимог екологічної безпеки. Відповідно до затвердженого Постановою КМУ від 30.03.1998 р. № 391 (редакція від 30.10.2013 р.) «Положення про державну систему моніторингу довкілля» та до Постанови КМУ від 09.03.1999 р. № 343 «Про затвердження Порядку організації та проведення моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря» (редакція від 30.10.2013 р.) до об'єктів моніторингу належить атмосферне повітря, у тому числі атмосферні опади та викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря. Постановою КМУ від 29.11.2001 р. № 1598 «Про затвердження переліку найбільш поширених і небезпечних забруднюючих речовин, викиди яких в атмосферне повітря підлягають регулюванню» затверджений перелік найбільш поширених і небезпечних забруднюючих речовин, викиди яких в атмосферне повітря підлягають регулюванню.

Постанова КМУ від 13.03.2002 р. № 299 «Про Порядок розроблення та затвердження нормативів екологічної безпеки атмосферного повітря»[10] встановлює механізм розроблення та затвердження науково обґрунтованих нормативів екологічної безпеки атмосферного повітря до яких належать: нормативи якості атмосферного повітря; граничнодопустимі рівні акустичного, електромагнітного, іонізуючого, інших видів впливу фізичних та біологічних факторів на стан атмосферного повітря населених пунктів. Нормативи розробляються з урахуванням вимог міжнародних стандартів, норм, рекомендацій, встановлених Міністерством охорони здоров'я України (МОЗ), кліматичних умов, можливості транскордонного перенесення забруднюючих речовин, тощо.

Щодо шкідливих впливів фізичних і біологічних факторів на атмосферне повітря, нормування здійснюється відповідно до Постанови КМУ від 13.03.2002 р. № 300 «Про Порядок розроблення і затвердження нормативів

граничнодопустимого рівня впливу фізичних та біологічних факторів стаціонарних джерел забруднення на стан атмосферного повітря».

Важливим заходом охорони атмосферного повітря є регулювання викидів забруднюючих речовин в атмосферу стаціонарними джерелами забруднення. Право на викид забруднюючих речовин в атмосферне повітря виникає після отримання відповідними юридичними і фізичними особами дозволу на викид у порядку, визначеному затвердженим Постановою КМУ від 28.12.2001 р. № 1780 «Положенням про порядок розроблення та затвердження нормативів граничнодопустимих викидів забруднюючих речовин із стаціонарних джерел»[11].

У разі порушення умов і вимог щодо охорони і використання атмосферного повітря, передбачених дозволами, діяльність підприємств, установ і організацій, пов'язана з викидами забруднюючих речовин, може бути обмежена, тимчасово заборонена (зупинена) або припинена відповідно до ст. 12 Закону України "Про охорону атмосферного повітря"[4].

Постановами КМУ нормується діяльність, пов'язана з видачею дозволів на штучні зміни стану атмосфери та атмосферних явищ (Постанова КМУ від 13.03.2002 р. № 301), затвердженням нормативів вмісту забруднюючих речовин у відпрацьованих газах пересувних джерел забруднення атмосферного повітря (Постанова КМУ від 13.03.2002 р. № 303), затвердженням порядку проведення та оплати робіт, пов'язаних з видачею дозволів на викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря стаціонарними джерелами, обліком підприємств, установ, організацій та громадян - суб'єктів підприємницької діяльності, які отримали такі дозволи (Постанова КМУ від 13.03.2002 р. № 302) тощо[12,13,14].

Значна кількість нормативних актів у сфері охорони атмосферного повітря приймається спеціально уповноваженими центральними органами державної виконавчої влади (міністерствами, державними комітетами, агентствами та іншими відомствами), а також місцевого самоврядування адміністративно-територіальних одиниць. У першу чергу до таких актів слід

віднести накази Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України (Мінприроди).

Важливе місце в охороні атмосферного повітря займають норми технічного характеру. У багатьох випадках екологічне законодавство містить посилання на технічні нормативи, санітарні норми, стандарти якості навколишнього середовища, гранично-допустимі концентрації забруднюючих речовин у природних об'єктах, тощо. Особливу групу правових актів складають Державні стандарти України (ДСТУ), Державні санітарні норми (ДСН), галузеві стандарти, державні будівельні норми і правила, тощо. Законодавство України у сфері стандартизації базується на Законі України «Про стандартизацію» від 05.06.2014 р. № 1315-VII [15] та інших нормативно-правових актах.

Відповідно до положень діючих нормативно-правових актів основними правовими механізмами державного регулювання охорони атмосферного повітря є: нормування та стандартизація в цій галузі; регулювання розміщення об'єктів та джерел забруднення атмосферного повітря; проведення державної екологічної та інших експертиз об'єктів, що мають значний негативний вплив на довкілля та здоров'я людей; дозвільний порядок санкціонування діяльності, що може супроводжуватися викидами в навколишнє середовище; встановлення санітарно-захисних зон довкола підприємств; облік та моніторинг якості повітряного басейну та здійснення контролю за станом атмосферного повітря.

Законодавчо також передбачена можливість застосування організаційно-економічних заходів охорони атмосферного повітря, до яких відносять: екологічний податок; відшкодування збитків, заподіяних державі внаслідок порушення законодавства про охорону атмосферного повітря; надання суб'єктам господарювання податкових, кредитних та інших пільг у разі впровадження ними маловідходних, енерго- та ресурсозберігаючих технологій, здійснення інших природоохоронних заходів, що мають на меті зменшення хімічного, фізичного та біологічних факторів забруднення повітря; участь

держави у фінансуванні екологічних заходів і будівництві об'єктів екологічного призначення[4].

Одними з важливих механізмів державної політики у галузі охорони атмосферного повітря є державний облік та моніторинг якості атмосферного повітря. Державному обліку в галузі охорони атмосферного повітря підлягають об'єкти, які справляють або можуть справити шкідливий вплив на здоров'я людей та на стан атмосферного повітря. Взяття на державний облік зазначених об'єктів здійснюється Мінприроди і через екологічні підрозділи обласних державних адміністрацій та органів місцевого самоврядування. Державний облік у галузі охорони атмосферного повітря здійснюється за єдиною системою у порядку, визначеному Кабінетом Міністрів України (Постанова КМУ від 13 грудня 2001 р. № 1655)[16]. Критерії взяття на державний облік об'єктів у залежності від видів і обсягів забруднюючих речовин, що викидаються в атмосферне повітря визначаються Інструкцією Мінприроди №177 від 10.05.2002 р.[17]

На державний облік беруться об'єкти, якщо в їхніх викидах присутня хоча б одна забруднююча речовина (або група речовин), потенційний викид якої рівний або перевищує величину, зазначену в Переліку забруднюючих речовин та порогових значень потенційних викидів. Суб'єкти господарювання проводять інвентаризацію видів та обсягів забруднюючих речовин, що викидаються в атмосферне повітря і за результатами інвентаризації встановлюють необхідність взяття їх на державний облік за відповідними критеріями[17].

Моніторинг у галузі охорони атмосферного повітря проводиться з метою отримання, збирання, оброблення, збереження та аналізу інформації про викиди забруднюючих речовин та рівня забруднення атмосферного повітря, оцінки та прогнозування його змін та розроблення науково-обґрунтованих рекомендацій для прийняття рішень у галузі охорони атмосферного повітря. Порядок організації та проведення моніторингу у галузі охорони атмосферного повітря затверджено Постановою КМУ від 30.03.1998 р. № 391[18].

Нажаль, не всі перелічені складові частини екологічного моніторингу стану атмосферного повітря і антропогенного навантаження на нього виконуються належним чином. Недостатньо розвинутою є мережа контрольно-вимірювальних постів (КВП). Навіть у великих промислових містах України кількість КВП є недостатньою і вони не завжди розташовані у науково обгрунтованих точках міста.

Законом України «Про гідрометеорологічну діяльність» від 18.02.1999 р. № 443-XIV контроль за екологічним станом атмосферного повітря покладено на органи Національної гідрометеорологічної служби[19]. Мережа КВП входить до складу цієї служби. Крім того на мережі метеорологічних станцій гідрометеорологічної служби проводяться за визначеною програмою вимірювання системи метеорологічних величин, а в деяких пунктах – радіозондування атмосфери. За допомогою цих даних, а також завдяки добре організованому обміну гідрометеорологічною інформацією у системі Всесвітньої метеорологічної організації (ВМО) між країнами, територіальні гідрометеорологічні центри складають прогнози погоди і прогнози метеорологічних умов забруднення атмосферного повітря (МУЗ).

Прогнози погоди та МУЗ на визначені інтервали часу упередження, взагалі кажучи, повинні використовуватись для прийняття різних за характером управлінських рішень. Якщо у цьому напрямку прогнози погоди використовуються (припинення роботи аеропортів, морських портів, обмеження експлуатації автомобільного транспорту, штормові оповіщення тощо), то на основі прогнозів МУЗ ніяких управлінських рішень не приймається, хоча діючими нормативно-правовими актами передбачається обмеження і навіть заборона викидів забруднюючих речовин, в першу чергу підприємствами[19].

Причиною цього є декілька обставин. По-перше, прогноз МУЗ не доводиться до підприємств – одних з головних забруднювачів атмосферного повітря для здійснення своєчасних природоохоронних заходів. По-друге, у належній мірі не проводиться вивчення часових та просторових особливостей

розповсюдження забруднення шкідливими домішками різних районів міста, при тих чи інших станах граничного шару атмосфери міста, хоча належні методи досліджень статистичної структури рядів і полів інгредієнтів добре розроблені. По-третє, не враховуються технічні та технологічні характеристики джерел викидів забруднюючих речовин для визначення внеску викидів окремих джерел у формування поля забруднення атмосферного повітря при прогнозуванні МУЗ.

Для прийняття управлінських рішень щодо антропогенного навантаження окремих підприємств при несприятливих прогнозах МУЗ повинна бути розроблена сучасна методика оцінки зв'язків параметрів атмосфери з інтенсивністю її забруднення викидами антропогенних джерел, насамперед промисловими підприємствами. Таким чином, існує необхідність постановки і впровадження питання планування екологічного стану атмосферного повітря міста в цілому, особливо при несприятливих для самоочищення повітря атмосферних умовах. Теоретичні засади методів екологічної безпеки атмосферного повітря великого промислового міста розроблені проф. І.Д.Лоевою[20]. На практиці такі методи частково реалізовані у м. Київ.

2 СТАТИСТИЧНІ МЕТОДИ АНАЛІЗУ СТАНУ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ

2.1 Роль атмосферних процесів у формуванні рівня забруднення повітряного басейну міста

Визначення залежності між забрудненням атмосфери і метеорологічними умовами є досить складною задачею, що великою мірою обумовлюється характером викидів. Однак за певним припущенням можна вважати, що кількість і характер джерел викидів у промисловому місті змінюється незначно. За цих умов переважного значення набуває метеорологічна обумовленість забруднення атмосфери [21].

В першу чергу на формування полів концентрацій інгредієнтів у приземному шарі атмосфери впливає характер розміщення в межах міста промислових підприємств і напрямок переносу мас повітря. Якщо перший з них, при розгляді стаціонарних джерел, є незмінним, то напрямок переносів безупинно змінюється у залежності від розвитку процесів синоптичного масштабу. Синоптичні процеси визначають не тільки напрямок переносу, але і тип повітряної маси. Це визначає структуру граничного шару атмосфери, від якої залежать умови турбулентної дифузії домішки.

Так, при проходженні атмосферних фронтів відбувається різка зміна напрямку вітру в граничному шарі повітря, а також, напрямку переносу домішок від джерела. Таким чином, одне і теж джерело при різних напрямках вітру забруднює повітря над різними районами. Отже, напрямок вітру в граничному шарі справляє значний вплив на формування умов забруднення повітря промисловими викидами.

Умови переносу і накопичення домішки в приземному шарі атмосфери залежать не тільки від напрямку, але й від швидкості вітру. Якщо в початковий

момент часу температура газів, які викидаються джерелом, більша за температуру навколишнього повітря, то гази мають плавучість. У зв'язку з цим поблизу джерела викиду створюється поле вертикальних швидкостей, які сприяють підйому струменя. При слабких вітрах воно обумовлює зменшення концентрації домішок біля землі. Концентрація домішок убиває і при дуже сильних вітрах, завдяки швидкому переносу домішок і інтенсивній турбулентності. Таким чином, найбільші концентрації домішки у приземному шарі утворюються при визначеній швидкості вітру, яку називають «небезпечною» [22]. Її значення залежить від характеристик джерела і визначається через параметр U_{mi} за формулою (3.8), (формула наведена в розділі 3 роботи).

Так, дані спостережень за концентрацією пилу і діоксиду сірки показують, що за інших рівних умов вона зростає при штилі (0-1 м/с) і при швидкостях вітру 4-6 м/с.

На інтенсивність забруднення атмосфери впливає вітер не тільки в приземному шарі, але й у межах усього граничного шару атмосфери. Істотно великі забруднення атмосфери відзначаються, коли в граничному шарі є шари з невеликими швидкостями вітру. Чим вище розташований шар зі слабким вітром, тим у меншому ступені виявляється тенденція до збільшення приземної концентрації домішки. Наприклад, при штилі в шарі від землі до висоти 30 м максимум приземної концентрації в точці x_m збільшується приблизно на 70% у порівнянні з випадком відсутності штилю. Якщо ж штильовий шар такої ж товщини розташовується між рівнями 30-60 м, то відповідна зміна максимальної концентрації інгредієнта складає не більше 30% [23].

Таким чином, до переліку факторів, що впливають, варто віднести швидкість вітру на рівні флюгера і на ряді висот у межах ефективної висоти джерела, яка дорівнює сумі його геометричної висоти і середньої висоти підйому факела в околиці джерела за рахунок сил плавучості. В умовах нестійко стратифікованого граничного шару в число факторів, що впливають, необхідно включати напрямок і швидкість вітру на верхній межі граничного шару, щоб непрямим чином врахувати особливості залучення в цю зону повітря

із шару замикаючої інверсії. Останнє пояснюється тим, що і в нестійкому, і у стійкому граничному шарі атмосфери одним з важливих механізмів, що обумовлюють поширення струменя чи хмари домішки в атмосфері від висотного джерела, є зсув вектора вітру у граничному шарі атмосфери. Отже, його також варто включити в число факторів, що впливають на рівень забруднення атмосфери. Шари повітря, в яких необхідно розраховувати градієнт швидкості вітру, залежать від структури граничного шару атмосфери і висоти джерел.

Напрямок і швидкість переносу мас повітря в граничному шарі не завжди визначається тільки процесами синоптичного масштабу. На територіях з неоднорідною підстильною поверхнею велике значення мають циркуляції мезомасштабу. До них відносяться гірсько-долинні вітри та бризи. Бризова циркуляція спостерігається у середніх широтах літом завдяки різниці температур суша-море. Оскільки в день температура поверхні суші вище температури поверхні моря, вітер має напрямок з моря на сушу (денний або морський бриз). Денний бриз має вертикальне розповсюдження у середньому до 200 м. У верхній частини граничного шару атмосфери (від 200 м до 1-1,5 км) вітер має протилежний напрямок. Таким чином, утворюється замкнута вертикальна циркуляційна комірка. В глиб суші і моря бризова циркуляція розповсюджується в залежності від величини різниці температури між сушею і морем на відстань від 10-20 км до 100 км. Швидкість вітру при морському бризі складає у середньому 3-5 м/с. Уночі бризова циркуляція має протилежний напрямок, оскільки через радіаційне охолодження, поверхня суші стає холоднішою ніж поверхня води.

Таким чином, відповідно до результатів чисельних експериментів, бризова циркуляція справляє значний вплив на перенос та дифузію домішок. Крім того, ступінь цього впливу залежить від розташування джерела по відношенню до берегової межі, з одного боку, і забудови міста - з другого.

До основних факторів, що визначають розсіювання домішок в атмосфері, відноситься її температурна стратифікація. Саме розподіл температури повітря

з висотою в граничному шарі атмосфери характеризує стан стійкості цього шару, тобто умови розвитку впорядкованих вертикальних рухів і турбулентності. Дослідження показують, що з посиленням стійкості приземного шару атмосфери збільшується концентрація шкідливих домішок, якщо джерела низькі. У випадку високих джерел приземні концентрації залежать значною мірою від розташування інверсії. Для піднятих інверсій збільшення концентрацій тим більше, чим ближче до джерела знаходиться нижня межа інверсійного шару і чим нижче висота джерела. Якщо ж джерело розташовано вище від інверсійного шару, то внаслідок затримуючого ефекту інверсії до землі переноситься набагато менше домішки.

За даними ряду досліджень процесів забруднення атмосферного повітря в промислових містах, в умовах піднятих інверсій концентрації домішок завжди вище, ніж при їх відсутності, але звичайно трохи нижче, ніж при приземних інверсіях. Важливу роль відіграє і потужність інверсій, особливо приземних.

У місті зі значною кількістю невисоких джерел небезпечним є сполучення дуже слабкого вітру (0-1 м/с) і приземної інверсії, тобто ситуація застою повітря.

Значний вплив на вертикальну структуру поля вітру у граничному шарі атмосфери справляє рельєф. У стійко стратифікованому граничному шарі горбистий рельєф значною мірою змінює конфігурацію ліній току. Вже в умовах слабкої стійкості з навітряного боку височини помітно зростає градієнт швидкості вітру. Якщо стійкість повітря є помірною (ізотермія або невеликі від'ємні вертикальні градієнти температури), тоді потік ще має достатню кінетичну енергію для того, щоб більша частина ліній току пройшла понад височиною[23].

Однак форма ліній потоку над горбом має значні зміни. У випадку значної стійкості лінії току можуть досягти поверхні навітряного схилу. На підвітряному боці горба спостерігається збільшення турбулентності.

Аналіз ряду досліджень показує, що значна зміна вертикальної структури поля вітру у стійкому пограничному шарі, обумовлена горбистим рельєфом,

значно впливає не тільки на горизонтальний перенос домішок, а також на їхню дифузію.

При байдужій стратифікації середні лінії потоку, які проходять над височиною, ніби повторюють її конфігурацію. В умовах помірної стійкості середня лінія потоку значно наближається до поверхні височини, особливо на її підвітряному боці. Змінення ліній потоку приводить до того, що якщо при байдужій стратифікації найбільша приземна концентрація досягається на вершині височини, то в умовах помірної стійкості вона визначається на підвітряному схилі, а при значній стійкості стратифікації - на навітряному схилі.

При більш пересіченому рельєфі викривлення ліній потоку будуть значно більшими. Особливо складний характер в стійкому граничному шарі має вертикальна структура граничного шару над великим містом, де є будинки різної, в тому числі значної висоти.

Значний вплив на склад домішок в атмосфері міста справляє інерційний фактор. Якщо протягом якого-небудь часу не спостерігається проходження атмосферного фронту, і, як наслідок, не відбувається заміни повітряної маси, шкідливі домішки поступово накопичуються у приземному шарі повітря. Це особливо характерно для застійних умов. Тому спостерігаються кореляційні зв'язки між поточними концентраціями інгредієнтів з їхніми концентраціями в попередній період. Отже, попередні значення концентрацій шкідливих домішок можуть служити ознаками майбутніх рівнів забруднення атмосфери[23].

Скупчення домішок в атмосфері міста залежить від температури по-вітря в приземному шарі: з відносно високою температурою повітря, за інших рівних умов, найчастіше пов'язано підвищене забруднення атмосфери. Можна припустити наявність двох причин зв'язку вмісту шкідливих домішок у міському повітрі з його температурою. По-перше, в умовах застою повітря при низьких температурах підсилюється ефект острова тепла і надходження в місто чистого повітря внаслідок утворення місцевої циркуляції. По-друге, має певне

значення, як уже відзначено вище, різниця температур газоповітряної суміші, що викидається джерелом зі шкідливою домішкою, і навколишнього повітря.

На формування рівня забруднення повітря впливають тумани й опади. Краплі туману поглинають не тільки ті домішки, що поблизу підстильної поверхні, але і з вищерозташованих найбільш забруднених, при наявності висотних джерел, шарів повітря. Внаслідок цього, концентрація домішок значно зростає в шарі туману і зменшується над ним. Туман і вологі димки утворюються при високій відносній вологості повітря в стійко стратифікованому граничному шарі атмосфери, при охолодженні приземного шару повітря внаслідок теплообміну з більш холодною поверхнею землі. Цим можна пояснити наявність стійких кореляційних зв'язків між концентраціями домішок і відотною вологістю повітря, що дає підставу розглядати цю метеорологічну характеристику як фактор, що впливає на рівень забруднення атмосферного повітря[23].

Опади є одним з механізмів стоку домішки. Вони вимивають як аерозолі, так і газоподібні домішки. Аерозолі вимиваються як рідкими, так і твердими опадами. Газовий компонент розчиняється спочатку в краплях дощу, а потім осаджується на підстильну поверхню разом із краплями. Так утворюються, наприклад, кислотні дощі. Швидкість вимивання аерозолів залежить від інтенсивності випадіння опадів і їхньої тривалості. Так, облогові опади тривалістю до двох годин очищують атмосферу приблизно на 50%, а зливові опади такої ж тривалості зменшують концентрацію домішки на 70%.

Таким чином, за фактори, що впливають на розподіл шкідливих домішок в атмосфері, варто взяти наступні характеристики: концентрацію домішки за попередній термін; температуру повітря; вологість; напрямок і швидкість вітру біля землі і на різних рівнях; градієнт температури і швидкості вітру в різних шарах атмосфери; характеристики інверсії; показники турбулентності; бал хмарності й атмосферні явища[24].

ової металургії, теплоенергетики, хімії та нафтохімії, гірничодобувної промисловості, цементних заводів. Такі міста є безперечними лідерами щодо забруднення повітря. Серед них: Донецьк, що складає разом з розташованими поряд з ним Авдіївкою, Горлівкою, Єнакієвим, Макіївкою та іншими містами Донецьку промислову агломерацію, а також Дніпродзержинськ, Дніпро, Запоріжжя, Кривий Ріг, Маріуполь.

У великих містах з інтенсивними транспортними потоками вміст у повітрі канцерогенних речовин типу бензопірена в 2—3 рази, а в центрах чорної металургії приблизно в 12 раз вищий, ніж в невеликих містах або сільській місцевості.

Одним з великих промислових міст України із інтенсивними транспортними потоками є і Одеса. Одеса - значний центр машинобудування, хімії, переробки сільгосппродукції. Робота промислових підприємств формує певне техногенне навантаження на атмосферне повітря та пов'язана з утворенням великих об'ємів стічних вод. Очисні споруди Одеси перевантажені, працюють неефективно.

Особливо в літній час в Одесі різко зростає кількість автотранспорту, збільшується число морських суден у портах, у тому числі прибережного плавання. На долю автотранспорту та частково морських суден випадає більше 80% сумарного викиду забруднених речовин в атмосферне повітря[26].

Найбільші обсяги викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря мають підприємства, які виробляють та розподіляють електроенергію, газ та воду (43% від загальних викидів стаціонарними джерелами по місту та області) та підприємства переробної промисловості (29% від загальних викидів стаціонарними джерелами по місту та області).

Серед населених пунктів області, як і раніше, найбільшого антропогенного навантаження зазнає атмосфера м. Одеса, м. Южного, Лиманського, Білгород-Дністровського, Ренійського районів.

Основними забруднювачами атмосферного повітря в регіоні залишаються підприємства хімічної промисловості, з виробництва цементу та підприємства,

які розподіляють газ, на які припадає майже 70% викидів всіх шкідливих речовин, а саме ВАТ “Одеський припортовий завод”, ВАТ “Одесагаз”, ВАТ “Газтранзит”, ВАТ “Цемент”.

Причинами надмірних викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря є: робота деяких підприємств в умовах значної зношеності основних фондів, недосконалості технологічних процесів базових галузей промисловості, недостатня забезпеченість останніх очисними спорудами для уловлювання та утилізації забруднюючих речовин, недосконалість та суперечливість законодавства в питаннях накладання штрафів за забруднення навколишнього природного середовища, корупційні ризики в роботі державних органів, що мають приймати управлінські рішення.

Залишається гострою проблема забруднення повітря пересувними джерелами, і особливо, автомобільним транспортом. Надходження шкідливих речовин від автотранспорту домінують над викидами від стаціонарних джерел, і становить 81 % від загальної кількості забруднюючих речовин, що надходять в атмосферне повітря.

Надходження шкідливих речовин від пересувних джерел домінують над викидами від стаціонарних джерел майже в усіх районах та містах області, крім міст Южне та Чорноморськ, Лиманського, Березівського, Ренійського районів. Майже 42% загальної кількості викинутих забруднюючих речовин від транспорту перепадає на місто Одесу.

Основним методом визначення концентрацій забруднюючих речовин в атмосферному повітрі міст України є відбір проб повітря на стаціонарних постах спостереження. Кількість постів визначається розміром міста і особливостями структури промисловості. Вона може коливатись від одного поста для міст з населенням, меншим за 50 тисяч мешканців, до двадцяти постів для міст-мільйонників. У 2016 році в країні було 129 постів у 39 містах. Найбільше, 16 постів — у Києві, 10 постів — у Харкові, 8 — в Одесі, 6 — у Дніпрі. Великі промислові центри — Запоріжжя, Кривий Ріг, Маріуполь —

мали по п'ять постів спостереження, у той час як для більшості обласних центрів їх кількість не перевищувала чотирьох.

Відбір проб проводяться на визначених часових проміжках (строках) відповідно до однієї з чотирьох програм спостережень: повної, неповної, скороченої чи добової. Повна програма передбачає чотири виміри впродовж доби: о 01:00, 07:00, 13:00, 19:00 за місцевим часом; неповна — три: о 07:00, 13:00, 19:00; скорочена — два: о 07:00, 13:00; добова програма передбачає неперервні спостереження.

Спостереження за концентраціями пилю, діоксиду сірки, оксиду вуглецю, діоксиду азоту, бенз(а)пірену, формальдегіду та радіоактивних речовин є обов'язковими. Інші речовини можуть бути включені до програми спостережень за рішенням органів місцевого самоврядування відповідно до специфіки екологічної ситуації.

Для визначення якості повітря фактичні концентрації забруднюючих речовин порівнюються з гранично допустимими концентраціями (ГДК) - (максимальна концентрація, при дії якої протягом усього життя людини не виникає прямого або опосередкованого несприятливого впливу на теперішнє і майбутнє покоління, не знижується працездатність, не погіршується самопочуття та санітарно-побутові умови життя). ГДК встановлюються на основі довготривалих досліджень у профільних відомствах.

Результатом порівняння фактичних та гранично допустимих концентрацій є значення кратності перевищення ГДК. Воно дає можливість оцінити рівень впливу окремих речовин на здоров'я людини. Однак, порівняння таких показників є не коректними, оскільки різні речовини мають різну шкідливість. З метою уникнення цього протиріччя розраховується забруднення атмосфери (ІЗА). Окрім порівняння фактичної концентрації до граничної, він враховує клас небезпечності.

Розрахунок цього індексу засновано на припущенні, що на рівні гранично допустимих концентрацій усі шкідливі домішки характеризуються однаковим впливом на людину, а при наступному підвищенні концентрації ступінь їх

шкідливості зростає з різною швидкістю, яка залежить від класу небезпеки даної домішки. Комплексний індекс забруднення атмосфери дозволяє оцінити забруднення певного місця від різних речовин[27].

Для оцінки забруднення атмосфери певною забруднюючою речовиною району міста або по місту в цілому інтегральний показник забруднення атмосфери – індекс забруднення атмосфери (ІЗА) розраховується по формулі:

$$ІЗА = [C/ГДК_{сд}i]^{\alpha_i} \quad (3.1)$$

де C_i – середня концентрація i -ої ЗР,

$ГДК_{сд}i$ – середньодобова гранично допустима концентрація i -ої ЗР,

α_i - безрозмірна константа приведення ступеня шкідливості i -ої ЗР до шкідливості SO_2 (I клас небезпеки - 1,5, II - 1,3, III - 1,0, IV - 0,85)[28].

Стосовно стаціонарних джерел викидів - потужність і умови викидів від стаціонарних джерел залежить від конструктивних і технологічних параметрів цих джерел. Другим основним чинником рівня забруднення повітряного басейну міста є здатність атмосфери переносити і розсіювати забруднюючі речовини. Останнє полягає у тому, що коли граничний шар атмосфери знаходиться у стані стійкості при незначних швидкостях вітру, відбувається накопичення шкідливих домішок й при роботі підприємств у штатному режимі. Якщо такий стан атмосфери спостерігається протягом тривалого часу, то це може привести до суттєвого накопичення шкідливих домішок у приземному шарі.

Викиди ряду підприємств при означених метеорологічних умовах створюють у приземному шарі атмосфери певне поле концентрації забруднюючої речовини. Якщо формується поле підвищеного рівня концентрації інгредієнту, то виникає питання, яким чином зменшити рівень забруднення? Якщо на деякий час зупинити роботу окремих підприємств, то яких саме? Якщо зменшити потужність викидів, або режим викидів то на який термін і яких

підприємств? Зазначені питання не є тривіальними, оскільки зупинка або зміна технологічного режиму викидів призводять до значних фінансових втрат.

Необхідною є інша постановка задачі збереження якості атмосферного повітря. Вона полягає в тому, що доцільно було б провести обмеження викидів, наприклад, конкретної шкідливої домішки підприємствами при несприятливих метеорологічних умовах таким чином, щоб сумарні економічні витрати були мінімальними. Така постановка питання по-суті є задачею оптимального планування полів концентрації шкідливих домішок в атмосфері великого міста. Звичайно, реалізація такої задачі дуже складна з боку математичної постановки. Крім того, вона є важко реалізовуємою за умов ринкової економіки, оскільки є суперечливою з миттєвими інтересами власників підприємств, які у переважній більшості досі не розуміють збереження екологічно безпечного стану довкілля, від якого залежить здоров'я населення і майбутнього покоління.

Вирішення задачі оптимального планування якості атмосферного повітря великого міста може бути реалізована тільки при наявності відповідного нормативно-правового акту, який би давав можливість органам місцевого самоврядування приймати відповідні рішення.

Задачу оптимального планування якості атмосферного повітря на території великого промислового міста можна сформулювати таким чином. Треба встановити такі умови викиду для кожного джерела, що при самих несприятливих метеорологічних станах граничного шару атмосфери створювали б задане поле концентрації інгредієнту при умові мінімуму цільової функції. В якості останньої можуть виступати, наприклад, сумарні витрати всіх промислових об'єктів, які пов'язані із зменшенням потужності, або умовами викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря. Основою для розв'язання такої задачі може бути статистична модель оптимального планування режиму роботи підприємств з метою захисту атмосферного повітря міста, яка розроблена І.Д.Лоєвою[25].

Будь-яка задача оптимізації вирішується за допомогою методів лінійного або нелінійного програмування. При цьому необхідно ретельно сформулювати

умови, при яких досягається максимум чи мінімум функціонала, що описує цілі поставленої задачі. До цих умов відносяться певні обмеження, які залежать від сутності задачі й метода програмування. Тобто необхідно сформулювати обмеження у вигляді деякої лінійної форми. Розв'язання проблеми оптимального планування рівня забруднення атмосферного повітря у початковій постановці розглядається саме як задача лінійного програмування. Тому спочатку необхідно вирішити дві задачі: побудувати лінійні обмеження і цільову функцію.

3.2 Побудова системи лінійних обмежень

3.2.1 Система рівнянь регресії

Територія міста характеризується розташуванням на ній значної кількості джерел забруднення. Їх сумарний вплив за певних метеорологічних умов формує на території міста поля концентрацій шкідливих домішок. Такі поля можна визначити за допомогою вимірів на КВП.

Таким чином, поле концентрацій інгредієнта в приземному шарі атмосфери можна представити його значеннями на множині L КВП. Ясно, що концентрація інгредієнта на окремо взятому КВП формується за рахунок впливу всіх K джерел забруднення. Внесок того чи іншого джерела залежить від потужності викиду M , висоти джерела - H , витрати газоповітряної суміші V_i , і величини її перегріву відносно навколишнього повітря ΔT . Від цих параметрів, а також від інших величин, що характеризують здатності атмосфери до розсіювання, залежить максимальне значення приземної концентрації шкідливої речовини і положення відносно джерела викидів точки, де це максимальне значення спостерігається. Ці характеристики знаходяться за формулами (3.5-3.32).

Таким чином, зазначені вище умови визначають концентрації інгредієнта на j -тому КВП, з одного боку, і концентрації інгредієнта в точці максимуму, з іншого.

Очевидним є припущення щодо існування статистичної залежності між концентрацією домішки q_j на j -тому КВП і концентраціями інгредієнту в точках максимуму концентрацій C_{mi} . Така залежність може бути визначена системою лінійних рівнянь множинної регресії вигляду[25]:

$$q_j = \sum_{i=0}^K a_{ij} C_{mi}, \quad j = \overline{1, L}; \quad C_{m0} = 1, \quad (3.2)$$

Де a_{ij} - коефіцієнти регресії. При цьому

$$a_{0j} = \overline{q_j} - \sum_{i=1}^K \overline{a_{ij}} \overline{C_{mi}} \quad (3.3)$$

Система рівнянь регресії (3.2) визначена, якщо знайдені оцінки коефіцієнтів регресії. Ця задача була б легко розв'язною, якби наявним статистичним сукупностям концентрацій інгредієнта на кожному КВП можна було б поставити у відповідність статистичні сукупності потужності викиду M_i , кожного джерела, витрати газповітряної суміші V_i і її перегрів ΔT_i , які б дали можливість одержати за формулами (3.28, 3.30-3.32) статистичні сукупності концентрації домішки в точках максимуму C_m . Однак таких даних на сьогодні взагалі не існує. Тому варто ввести деякі спрощені припущення. Вважаючи, що величини C_m є статистично незалежними, можна визначити, що коефіцієнти регресії розраховуються за наступною формулою:

$$a_{ij} = \frac{\sigma_{qj}}{\sigma_{C_{mi}}} r_{qjC_{mi}}, \quad j = \overline{1, L}, \quad i = \overline{1, K} \quad (3.4)$$

де σ_{qj} - середнє квадратичне відхилення концентрації домішки на j -тому КВП; $r_{qjC_{mi}}$ - кореляційний момент між концентраціями домішки q_j на j -тому

КВП i в точці максимуму концентрації i -того джерела викиду, σ_{cmi} - середнє квадратичне відхилення концентрації домішки в точці максимуму концентрації i -того джерела викиду.

Для визначення коефіцієнтів регресії необхідно в першу чергу розрахувати ряд параметрів, на підставі технічних і технологічних характеристик джерел викидів, метеорологічних характеристик тощо, в наступній послідовності.

1. Визначення параметру f_i

$$f_i = 10^3 \frac{\varpi_0 D_i}{H_i^2 \Delta T_i}, \quad (3.5)$$

де ϖ_{0i} – швидкість виходу газоповітряної суміші з отвору джерела викиду;

D_i – діаметр отвору джерела;

H_i – висота джерела;

$\Delta T_i = \tilde{T}_i - T_i$ – перегрів газоповітряної суміші (\tilde{T}_i) в порівнянні із температурою навколишнього повітря (T_i).

2. Розрахунок параметрів v_{mi} , v'_{mi} , f_e , m_i , n_i .

$$v_{mi} = 0,653 \sqrt{\frac{\pi D_i^2 \varpi_{0i} \Delta T_i}{4 H_i}}; \quad (3.6)$$

$$v'_{mi} = 1,3 \frac{\varpi_{0i} D_i}{H_i}; \quad (3.7)$$

Небезпечна швидкість вітру U_m , м/с на рівні флюгера (10 м від рівня землі) для перегрітих викидів за умови, що $f < 100$ визначається за формулами:

При $v_{mi} \leq 0,5$

$U_m = 0,5$

При $0,5 < v_{mi} \leq 2$

$$U_m = v_{mi} \quad (3.8)$$

При $v_{mi} > 2$

$$U_m = v_{mi} \left(1 + 0.12 \sqrt{1000 \frac{\varpi_0^2 D}{H^2 \Delta T}} \right)$$

де ω_0 – швидкість виходу газоповітряної суміші з отвору джерела викиду, м/с; D – діаметр труби, м.

Для холодних викидів, за умови $f \geq 100$ або $\Delta T \approx 0$ значення U_m розраховується за допомогою параметру

$$v'_{mi} = 1,3 \frac{\varpi_{0i} D_i}{H_i}, \quad (3.9)$$

При цьому небезпечна швидкість вітру визначається за формулами:

При $v'_M \leq 0.5$

$$U_M = 0.5 v'_M$$

При $0.5 < v'_M \leq 2$

$$U_M = v'_M \quad (3.10)$$

При $v'_M > 2$

$$U_M = 2.2 v'_M$$

Параметри f_e , m_i , n_i розраховуються за формулами (3.11 – 3.16).

$$f_e = 800 (v'_{mi})^3; \quad (3.11)$$

$$m_i = \frac{1}{0,67 + 0,1\sqrt{f_e} + 0,34\sqrt[3]{f_i}}, \quad \text{при } f_i < 100; \quad (3.12)$$

$$m_i = \frac{1,47}{\sqrt[3]{f_i}}, \quad \text{при } f_i \geq 100; \quad (3.13)$$

$$n_i = 0,532v_{mi}^2 - 2,13v_{mi} + 3,13 \quad \text{при } 0,5 < v_{mi} \leq 2,0; \quad (3.14)$$

$$n_i = 1 \quad \text{при } v_{mi} > 2,0; \quad (3.15)$$

$$n_i = 4,4v_{mi} \quad \text{при } v_{mi} \leq 0,5; \quad (3.16)$$

3. Розрахунок параметрів δ_i :

при $f_i < 100$

$$\delta_i = 2,48(1 + 0,28\sqrt[3]{f_i}), \quad \text{при } v_{mi} \leq 0,5; \quad (3.17)$$

$$\delta_i = 4,95(1 + 0,28\sqrt[3]{f_i}), \quad \text{при } 0,5 < v_{mi} \leq 2,0; \quad (3.18)$$

$$\delta_i = 7\sqrt{v_{mi}}(1 + 0,28\sqrt[3]{f_i}), \quad \text{при } v_{mi} > 2,0. \quad (3.19)$$

При $f_i \geq 100$

$$\delta_i = 5,7, \quad \text{при } v'_{mi} \leq 0,5; \quad (3.20)$$

$$\delta_i = 11,4v'_{mi}, \quad \text{при } 0,5 < v'_{mi} \leq 2,0; \quad (3.21)$$

$$\delta_i = 16\sqrt{v'_{mi}}, \quad \text{при } v'_{mi} > 2,0. \quad (3.22)$$

4. Обчислення відстані l_{mi} між місцем розташування джерела викиду $A_i(x_{Ai}, y_{Ai})$ і точкою максимуму концентрації $C_{mi}(x_{mi}, y_{mi})$, яка створюється i -тим джерелом

$$l_{mi} = \frac{5 - F_i}{4} H_i d_i 10^{-3}, \quad (3.23)$$

де F_i – параметр, що характеризує газоповітряну суміш на виході з джерела, задається.

5. Визначення складових радіус-вектора точки максимуму концентрації інгредієнта на осі сліду факелу

$$l_{x_{mi}} = -l_{mi} \sin \alpha, \quad (3.24)$$

$$l_{y_{mi}} = -l_{mi} \cos \alpha, \quad (3.25)$$

де α – середній напрямок вектору в шарі атмосфери, товщина якого дорівнює ефективній висоті джерела викиду.

6. Визначення координат точки максимуму концентрації C_{mi} :

$$x_{mi} = x_{Ai} + l_{x_{mi}}; \quad (3.26)$$

$$y_{mi} = y_{Ai} + l_{y_{mi}} \quad (3.27)$$

7. Визначення параметру q_i здійснюється відповідно до наступного рівняння

$$q_i = \frac{A_i F_i m_i n_i \eta}{H_i^2}, \quad (i = \overline{1, K}), \quad (3.28)$$

де A_i - параметр, що визначає інтенсивність турбулентної дифузії (задається);

η - коефіцієнт рельєфу місцевості.

8. Визначення параметру V_i

$$V_i = \frac{\pi D_i^2}{4} \omega_{0i} \quad (3.29)$$

9. Визначення параметру θ_i

$$\theta_i = \frac{M_i}{\sqrt[3]{V_i \Delta T_i}}, \quad (\Delta T \neq 0) \quad (3.30)$$

де M_i – потужність викиду з джерела (задається).

10. Визначення концентрації інгредієнту в точці максимуму при $\Delta T \neq 0$ здійснюється відповідно до наступних рівнянь:

$$C_{mi} = q_i \cdot \theta_i. \quad (3.31)$$

У випадку холодного викиду ($\Delta T \approx 0$)

$$C_{mi} = \frac{A_i F_i M_i n_i \eta}{H_i^{4/3}} \cdot \frac{D_i}{8V_i}. \quad (3.32)$$

Для визначення коефіцієнтів регресії, насамперед необхідно зупинитись на середньому квадратичному відхиленні концентрації інгредієнта в точках

максимуму $\sigma_{C_{Mi}}$, що входить до формули 3.3. Природно припустити, що величини, $M_i, V_{ii}, m_i, n_i, \Delta T_i$ визначувані рівностями (3.5-3.16, 3.29), є некорельованими. Тоді на основі рівностей (3.28, 3.30-3.32) можна отримати

$$\frac{\sigma_{C_{Mi}}}{C_{Mi}} = \left[\frac{\sigma_{M_i}^2}{M_i^2} + \frac{\sigma_{n_i}^2}{n_i^2} + \frac{\sigma_{m_i}^2}{m_i^2} + \frac{\sigma_{V_i}^2}{V_i^2} + \frac{\sigma_{\Delta T_i}^2}{\Delta T_i^2} \right]^{1/2} \quad (3.33)$$

Якщо величини m_i та n_i визначаються співвідношеннями (3.12- 3.16), то, як неважко показати (3.33) можна привести до виду

$$\frac{\sigma_{C_{Mi}}}{C_{Mi}} = \left[\frac{\sigma_{ii}^2}{M_i^2} + \left(\frac{\pi^2 D_i^2 v_{ii}^2 (1,046v_{ii} - 2,13)^2}{144n_i^2} + \frac{4(0,05\sqrt{f_i} + 0,11\sqrt[3]{f_i})^2}{m_i^2(0,67 + 0,1\sqrt{f_i} + 0,34\sqrt[3]{f_i})^4} \right) \cdot \sigma_{\omega_{0i}}^2 + \left(\frac{v_{ii}^2 (1,046v_{ii} - 2,13)^2}{9\Delta T_i^2} + \frac{(0,05\sqrt{f_i} + 0,11\sqrt[3]{f_i})^2}{m_i^2 \Delta T_i^2 (0,67 + 0,1\sqrt{f_i} + 0,34\sqrt[3]{f_i})^4} \right) \cdot \sigma_{\Delta T_i}^2 \right]^{1/2} \quad (3.34)$$

за умов $0,5 \leq v_{mi} \leq 2,0$ $f_i < 100$

Якщо $v_{mi} > 2$, то $n=1$ і при $f_i < 100$ отримаємо

$$\frac{\sigma_{C_{Mi}}}{C_{Mi}} = \left[\frac{\sigma_{ii}^2}{M_i^2} + \left(\frac{1}{9\Delta T_i^2} + \frac{(0,05\sqrt{f_i} + 0,11\sqrt[3]{f_i})^2}{m_i^2 \Delta T_i^2 (0,67 + 0,1\sqrt{f_i} + 0,34\sqrt[3]{f_i})^4} \right) \cdot \sigma_{\Delta T_i}^2 + \left(\frac{(0,05\sqrt{f_i} + 0,11\sqrt[3]{f_i})^2}{m_i \Delta T_i^2 (0,67 + 0,1\sqrt{f_i} + 0,34\sqrt[3]{f_i})^4} \right) \cdot \sigma_{\omega_{0i}}^2 \right]^{1/2} \quad (3.35)$$

при $v_{mi} < 0,5$ формула має вигляд

$$\frac{\sigma_{Cmi}}{C_{mi}} = \bar{C}_{ii} \sqrt{\frac{\sigma_{ii}^2}{M_i^2} + \left(\frac{1}{9\omega_{oi}^2} + \frac{4(0,05\sqrt{f_i} + 0,11\sqrt[3]{f_i})^2}{m_i^2 \omega_{oi}^2 (0,67 + 0,1\sqrt{f_i} + 0,34\sqrt[3]{f_i})^4} \right) \cdot \sigma_{\omega_{oi}}^2 + \left(\frac{19,4v_{ii}^2 + 1}{9\Delta T_i^2} + \frac{(0,05\sqrt{f_i} + 0,11\sqrt[3]{f_i})^2}{m_i (0,67 + 0,1\sqrt{f_i} + 0,34\sqrt[3]{f_i})^4} \right) \cdot \sigma_{\Delta T_i}^2} \quad (3.36)$$

За умови $f_i \geq 100$ параметр m_i визначається рівністю (3.13). У цьому випадку маємо

при $0,5 \leq v_{mi} \leq 2,0$

$$\frac{\sigma_{Cmi}}{C_{mi}} = \sqrt{\frac{\sigma_{ii}^2}{M_i^2} + \left(\frac{(1,046v_{ii} - 2,13)^2 v_{ii}^2 \pi D_i^2}{36(0,532v_{ii}^2 - 2,13v_{ii} + 3,13)^2} + \frac{0,96}{\omega_{oi}^2 \sqrt[3]{f_i^2 m_i^2}} \right) \cdot \sigma_{\omega_{oi}}^2 + \left(\frac{(1,046v_{ii} - 2,13)^2 + 1}{9\Delta T_i^2} + \frac{0,24}{\Delta T_i^2 \sqrt[3]{f_i m_i^2}} \right) \sigma_{\Delta T_i}^2} \quad (3.37)$$

при $v_{ii} > 2,0$

$$\frac{\sigma_{Cmi}}{C_{mi}} = \sqrt{\frac{\sigma_{ii}^2}{M_i^2} + \left(\frac{0,96}{m_i^2 \omega_{oi}^2 \sqrt[3]{f_i^2}} + \frac{1}{9\omega_{oi}^2} \right) \cdot \sigma_{\omega_{oi}}^2 + \left(\frac{1}{9\Delta T_i^2} + \frac{0,24}{\Delta T_i^2 \sqrt[3]{f_i^2 m_i^2}} \right) \sigma_{\Delta T_i}^2} \quad (3.38)$$

при $v_{mi} < 0,5$

$$\frac{\sigma_{Cmi}}{C_{mi}} = \sqrt{\frac{\sigma_{ii}^2}{M_i^2} + \left(\frac{19,4v_{ii}^2 + 1}{9\omega_{oi}^2} \right) \cdot \sigma_{\omega_{oi}}^2 + \left(\frac{19,4v_{ii}^2 + 1}{9\Delta T_i^2} \right) \sigma_{\Delta T_i}^2} \quad (3.39)$$

З наведених формул випливає, що визначення відносної мінливості концентрації в точці максимуму не склало би труднощів, якби була можливість організувати регулярні виміри технологічних характеристик джерел викиду ω_{0i} , M_i , ΔT_i . На жаль, такі виміри на підприємствах не проводяться[25].

Наступна проблема полягає у визначенні кореляційного моменту $r_{qjC_{mi}}$ тому що σ_{qj} для кожного КВП можуть бути знайдені по наявних вибірках середньодобових значень концентрацій інгредієнта. Вирішення її також пов'язано з певними труднощами. Вони полягають у тому, що координати точки максимуму концентрації відносно джерела викиду залежать від стану граничного шару повітря, а саме: від температурної стратифікації, напрямку і швидкості вітру. Це означає, що координати цієї точки, означені рівняннями (3.26) і (3.27), будуть змінюватися зі зміною зазначених характеристик атмосфери. Отже, кореляційний момент $r_{qjC_{mi}}$ характеризує кореляційний зв'язок між концентраціями інгредієнта на стаціонарному КВП і в деякій точці зі змінними координатами (x, y) . Ці труднощі можуть бути подолані шляхом апроксимації полів кореляції, побудованих у деякій системі координат (x, y) для кожного з КВП як полюса кореляції[25].

3.2.2 Апроксимація полів кореляції інгредієнтів

Вважатимемо, що на мережі КВП промислового міста здійснювалися за встановленою програмою виміри концентрацій інгредієнтів, на основі яких сформовані достатні за обсягом статистичні сукупності. Якщо вимірювальна мережа складається з L КВП, то на основі зазначених даних може бути визначена L -вимірна матриця кореляцій R [29]. Оскільки кожному КВП приписані визначені порядкові номери, кожен рядок (стовпець) матриці R являє собою поле кореляції з полюсом кореляції на КВП, номер якого збігається з номером цього рядка матриці R .

Якщо побудувати на території міста прямокутну систему координат (x, y) , то кожній точці (x, y) можна поставити у відповідність значення кореляції між концентраціями інгредієнта в полюсі кореляції й у даній точці. Це справедливо для будь-якої точки поля кореляцій, у тому числі і для точок максимуму концентрацій інгредієнта.

Припустимо територія міста розташовується в прямокутнику $a \leq x \leq b$, $c \leq y \leq d$. Цей прямокутник шляхом переносу початку координат і використання операції стиску, що відповідає формулам

$$\alpha = \frac{2x - (a + b)}{b - a}, \quad (3.40)$$

$$\beta = \frac{2y - (c + d)}{d - c}, \quad (3.41)$$

перетвориться на квадрат $-1 \leq \alpha \leq 1$, $-1 \leq \beta \leq 1$.

Для аналітичного опису в такий спосіб перетвореного поля кореляцій $r_q(\alpha, \beta)$ можна використовувати поліноми Чебишова 1 роду, що, як відомо, ортогональні в зазначеному квадраті області з вагою $1/(1-\alpha^2)^{1/2}$ чи вагою $1/(1-\beta^2)^{1/2}$, тобто

π при $m=n=0$

$$\int_{-1}^1 \frac{T_n(\alpha)T_m(\alpha)}{\sqrt{1-\alpha^2}} d\alpha = \begin{cases} \pi/2 & \text{при } m=n \neq 0 \\ 0 & \text{при } m \neq n \end{cases} \quad (3.42)$$

0 при $m \neq n$

де $T_n(\alpha)$ і $T_m(\alpha)$ – поліноми Чебишова відповідно порядку n і m .

Вони можуть бути визначені за допомогою рекурентної формули

$$T_{n-1}(z) = 2zT_n(z) - T_{n+1}(z) \quad (3.43)$$

за умови $T_0(z)=1, T_1(z)=z$

Розкладання поля кореляції по поліномах Чебишова 1 роду можна представити в такому вигляді

$$r_q(\alpha, \beta) = \sum_{m,n=0}^P A_{mn} T_m(\alpha) T_n(\beta), \quad (3.44)$$

Крім розкладання (3.44) для побудови полів кореляції можливо використовувати апроксимаційну формулу у вигляді алгебраїчного полінома третього ступеня

$$r(\alpha, \beta) = A_1 \alpha^3 + A_2 \beta^3 + A_3 \alpha^2 \beta + A_4 \alpha \beta^2 + A_5 \alpha^2 + A_6 \beta^2 + A_7 \alpha \beta + A_8 \alpha + A_9 \beta + A_{10}, \quad (3.45)$$

Коефіцієнти полінома (3.45) A_1, \dots, A_{10} визначаються за методом найменших квадратів.

Для цього вирішується система алгебраїчних рівнянь (3.46):

$$\begin{aligned} & A_1^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i^6 + A_2^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i^3 \beta_i^3 + A_3^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i^5 \beta_i + A_4^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i^4 \beta_i^2 + A_5^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i^5 + A_6^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i^3 \beta_i^2 + \\ & + A_7^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i^4 \beta_i + A_8^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i^4 + A_9^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i^3 \beta_i + A_{10}^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i^3 = \sum_{i=1}^L r_{pi} \alpha_i^3 ; \\ & A_1^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i^3 \beta_i^3 + A_2^{(p)} \sum_{i=1}^L \beta_i^6 + A_3^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i^2 \beta_i^4 + A_4^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i \beta_i^5 + A_5 \sum_{i=1}^L \alpha_i^2 \beta_i^3 + A_6 \sum_{i=1}^L \beta_i^5 + \\ & + A_7^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i \beta_i^4 + A_8^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i \beta_i^3 + A_9 \sum_{i=1}^L \beta_i^4 + A_{10} \sum_{i=1}^L \beta_i^3 = \sum_{i=1}^L r_{pi} \beta_i^3 ; \\ & A_1^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i^5 \beta_i + A_2^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i^2 \beta_i^4 + A_3^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i^4 \beta_i^2 + A_4^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i^3 \beta_i^3 + A_5^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i^4 \beta_i + A_6^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i^2 \beta_i^3 + \\ & + A_7^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i^3 \beta_i^2 + A_8^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i^3 \beta_i + A_9^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i^2 \beta_i^2 + A_{10}^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i^2 \beta_i = \sum_{i=1}^L r_{pi} \alpha_i^2 \beta_i \end{aligned} \quad ; \quad (3.46)$$

$$\begin{aligned}
& A_1^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i^4 \beta_i^2 + A_2^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i \beta_i^5 + A_3 \sum_{i=1}^l \alpha_i^3 \beta_i^3 + A_4^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i^2 \beta_i^2 + A_5 \sum_{i=1}^L \alpha_i^3 \beta_i^2 + A_6^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i \beta_i^4 + \\
& + A_7^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i^2 \beta_i^3 + A_8 \sum_{i=1}^L \alpha_i^2 \beta_i^2 + A_9 \sum_{i=1}^L \alpha_i \beta_i^3 + A_{10} \sum_{i=1}^L \alpha_i \beta_i^2 = \sum_{i=1}^L r_{pi} \alpha_i \beta_i^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& A_1^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i^5 + A_2^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i^2 \beta_i^3 + A_3^{(p)} \sum_{i=1}^l \alpha_i^4 \beta_i + A_4 \sum_{i=1}^L \alpha_i^3 \beta_i^2 + A_5^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i^4 + A_6^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i^2 \beta_i^2 + \\
& + A_7^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i^3 \beta_i + A_8^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i^3 + A_9^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i^2 \beta_i + A_{10}^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i^2 = \sum_{i=1}^L r_{pi} \alpha_i^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& A_1^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i^3 \beta_i^2 + A_2^{(p)} \sum_{i=1}^L \beta_i^5 + A_3^{(p)} \sum_{i=1}^l \alpha_i^2 \beta_i^3 + A_4^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i \beta_i^4 + A_5^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i^2 \beta_i^2 + A_6^{(p)} \sum_{i=1}^L \beta_i^4 + \\
& + A_7^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i \beta_i^3 + A_8^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i \beta_i^2 + A_9 \sum_{i=1}^L \beta_i^3 + A_{10} \sum_{i=1}^L \beta_i^2 = \sum_{i=1}^L r_{pi} \beta_i^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& A_1^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i^4 \beta_i + A_2^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i \beta_i^4 + A_3^{(p)} \sum_{i=1}^l \alpha_i^3 \beta_i^2 + A_4^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i^2 \beta_i^3 + A_5^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i^3 \beta_i + A_6^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i \beta_i^3 + \\
& + A_7^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i^2 \beta_i^2 + A_8^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i^2 \beta_i + A_9^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i \beta_i^2 + A_{10}^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i \beta_i = \sum_{i=1}^L r_{pi} \alpha_i \beta_i
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& A_1^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i^4 + A_2^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i \beta_i^3 + A_3^{(p)} \sum_{i=1}^l \alpha_i^3 \beta_i + A_4^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i^2 \beta_i^2 + A_5^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i^3 + A_6^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i \beta_i^2 + \\
& + A_7^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i^2 \beta_i + A_8^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i^2 + A_9^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i \beta_i + A_{10}^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i = \sum_{i=1}^L r_{pi} \alpha_i
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& A_1^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i^3 \beta_i + A_2^{(p)} \sum_{i=1}^L \beta_i^4 + A_3^{(p)} \sum_{i=1}^l \alpha_i^2 \beta_i^2 + A_4^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i \beta_i^3 + A_5^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i^2 \beta_i + A_6^{(p)} \sum_{i=1}^L \beta_i^3 + \\
& + A_7^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i \beta_i^2 + A_8^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i \beta_i + A_9 \sum_{i=1}^L \beta_i^2 + A_{10} \sum_{i=1}^L \beta_i = \sum_{i=1}^L r_{pi} \beta_i
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& A_1^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i^3 + A_2^{(p)} \sum_{i=1}^L \beta_i^3 + A_3^{(p)} \sum_{i=1}^l \alpha_i^2 \beta_i + A_4^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i \beta_i^2 + A_5^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i^2 + A_6^{(p)} \sum_{i=1}^L \beta_i^2 + \\
& + A_7^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i \beta_i + A_8^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i + A_9 \sum_{i=1}^L \beta_i + A_{10}^{(p)} L = \sum_{i=1}^L r_{pi}
\end{aligned}$$

Система рівнянь вирішується для кожного p -того полюса кореляцій ($p = \overline{1, L}$), для якого $r_{pp} = 1$ ($p = 1, L$); α_i и β_i – умовні координати відповідних КВП в перетвореній системі координат.

За даними наукових робіт на практичному прикладі з використанням ряду вихідної інформації доведено, що апроксимація за допомогою полінома третього ступеня дає значно кращі результати, ніж апроксимація на основі поліномів Чебишова 1 роду. Тому в подальшому як моделі апроксимації полів кореляції розглядатимуться алгебраїчні поліноми третього ступеня.

Таким чином, за допомогою полінома (3.45) можна по координатах точок максимуму концентрації для j -того поля визначити кореляційні моменти $r_{q/C_{mi}}$ і таким чином знайти оцінки коефіцієнтів регресії [25].

3.2.3 Система лінійних обмежень

Апроксимація полів кореляції концентрацій шкідливих домішок в атмосфері міста дає можливість знайти за формулою (3.4) коефіцієнти системи рівнянь регресії

$$q_S = a_{S0} + a_{S1} C_{M1} + a_{S2} C_{M2} + \dots + a_{Sk} C_{Mk} \quad S = \overline{(1, L)} \quad (3.47)$$

Якщо допустити, що при даному типі атмосферних процесів у районі S -того КВП можливо деяке максимальне значення концентрації інгредієнта q_{Sm} при штатних значеннях технологічного параметра $\bar{\theta}_i$.

Рівняння регресії (3.47) буде відображати цей факт, якщо $a_{S0} = \tilde{a}_{S0}$.

де

$$\tilde{a}_{S0} = q_{Sm} - (a_{S1} C_{M1} + a_{S2} C_{M2} + \dots + a_{Sk} C_{Mk}), \quad (3.48)$$

При такому значенні вільного члена рівняння регресії, як впливає з рівняння (3.47), для виконання умови

$$q_S < q_{Sm} \quad (3.49)$$

необхідно щоб

$$C_{Mi} < \overline{C_{Mi}}, \quad i = (1, k) \quad (3.50)$$

Це означає, що зменшення поля концентрацій при даних метеорологічних умовах можливо тільки шляхом зменшення викидів підприємств. З іншого боку, як відомо, вільний член рівняння регресії визначається рівністю

$$\overline{a_{s0}} = q_{s0} - (a_{s1} \overline{C_{M1}} + a_{s2} \overline{C_{M2}} + \dots + a_{sk} \overline{C_{Mk}}), \quad (3.51)$$

Таким чином, можна отримати два рівняння регресії, які відрізняються тільки вільними членами

$$q_S = \tilde{a}_{s0} + a_{s1} C_{M1} + a_{s2} C_{M2} + \dots + a_{sk} C_{Mk}, \quad (3.52)$$

$$q_S = \overline{a}_{s0} + a_{s1} \overline{C_{M1}} + a_{s2} \overline{C_{M2}} + \dots + a_{sk} \overline{C_{Mk}}, \quad (3.53)$$

Але при $C_{Mi} = \overline{C_{Mi}}$ перше з них дає $q_S = q_{Sm}$, а друге $q_S = \overline{q}_S$. Підставивши в другому з них $\overline{C_{Mi}}$ замість C_{Mi} і віднявши почленно з рівняння (3.53) рівняння (3.52), можна одержати наступну систему рівнянь:

$$a_{s1} (\overline{C_{M1}} - C_{M1}) + a_{s2} (\overline{C_{M2}} - C_{M2}) + \dots + a_{sk} (\overline{C_{Mk}} - C_{Mk}) = \varpi_S, \quad (3.54)$$

де

$$\overline{\omega}_s = \overline{q}_s - q_s + \overline{a}_{s0} + a_{s0}, \quad (3.55)$$

Чи, якщо використовувати формули (3.48) і (3.51)

$$\omega_s = q_{sm} - q_s, \quad (3.56)$$

Систему рівнянь (3.54) можна представити у вигляді

$$a_{s1}\varphi_1 + a_{s2}\varphi_2 + \dots + a_{sk}\varphi_{sk} \leq \omega_s, \quad (3.57)$$

якщо ввести

$$\varphi_i = \overline{C}_{Mi} - C_{Mi}, \quad (3.58)$$

З рівнянь (3.54-3.58) виходить, що якщо

$$C_{Mi} < \overline{C}_{Mi}, \quad (3.59)$$

то

$$\omega_k > 0 \quad \text{та} \quad q_s < q_{sm}, \quad (3.60)$$

Головна мета полягає в тому, щоб при даних метеорологічних умовах одержати поле концентрацій інгредієнта, яке відповідала б визначеному плану. Можна позначити його $q_{sn} S = (\overline{1}, \overline{L})$. Щоб цього досягти, необхідно так зменшити технологічні параметри підприємств у порівнянні з установленими $\overline{\theta}_i$, щоб виконувалася нерівність (3.60). Це можливо за наступних умов:

$$a_{s1}\varphi_1 + a_{s2}\varphi_2 + \dots + a_{sk}\varphi_{sk} \leq \omega_{Sn}, \quad S = \overline{(1, L)} \quad (3.61)$$

$$\omega_{Sn} = q_{Sm} - q_{Sn}, \quad (3.62)$$

Система лінійних нерівностей (3.61) за умови, що праві їхні частини задані рівностями (3.62), і представляє собою систему лінійних обмежень[25].

4 ВИЗНАЧЕННЯ СИСТЕМНИХ ПІДХОДІВ ДО РЕГУЛЮВАННЯ РІВНЯ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ПРОМИСЛОВОГО МІСТА

4.1 Завдання функції цілі та формування оптимізаційної задачі

Задачу оптимального планування якості атмосферного повітря на території великого промислового міста, як зазначалось в роботі вище, можна сформулювати таким чином. Треба встановити такі умови викиду для кожного джерела, що при самих несприятливих метеорологічних станах граничного шару атмосфери створювали б задане поле концентрації інгредієнту при умові мінімуму цільової функції. В якості останньої можуть виступати, наприклад, сумарні економічні витрати всіх промислових об'єктів, які пов'язані із зменшенням потужності, або умовами викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря.

Алгоритм регулювання режиму роботи підприємств полягає у наступному.

Спочатку потрібно визначити коефіцієнт регресії:

$$a_{SK} = \frac{\sigma_{QS}}{\sigma_{C_{MK}}} r_{qS C_{MK}} a_{S0} = \overline{q_S} - \sum_{i=1}^k a_{Si} C_{Mi} \quad (4.1)$$

Для рівняння регресії:

$$q_S = a_{S0} + a_{S1} C_{M1} + a_{S2} C_{M2} + \dots + a_{Sk} C_{Mk} \quad (4.2)$$

Визначення функцій буде:

$$\varphi_s = \overline{C_{Mi}} - C_{Mi} \quad (4.3)$$

Наступний етап полягає в побудові системи лінійних обмежень[20]:

$$a_{s1} \varphi_1 + a_{s2} \varphi_2 + \dots + a_{sk} \varphi_{sk} \leq \omega_{Sn} , \quad (4.4)$$

де
$$\omega_{Sn} = q_{Sm} - q_{Sn} ; \quad (4.5)$$

q_{Sm} – максимальне значення концентрації інгредієнту в районі S-го КВП при певному типові атмосферних процесів;

q_{Sn} – планове значення концентрацій інгредієнту.

Далі визначається питома вартість продукції підприємства:

$$\chi_i = \frac{Q_i}{\bar{\theta}_i} , \quad (4.6)$$

де Q_i – вартість продукції i -того підприємства за добу;

$\bar{\theta}_i$ – встановлені технологічні параметри підприємства;

Наступним кроком потрібно визначити сумарну питому вартість χ_i для всіх підприємств – забруднювачів в місті:

$$\xi = \sum_{i=1}^K \chi_i , \quad (4.7)$$

Далі визначити відносну питому вартість продукції i -го підприємства:

$$b_i = \frac{\chi_i}{\xi} , \quad (4.8)$$

де $\sum_{i=1}^K b_i = 1$, а $b_i * Q_i$ – умовна вартість продукції i -го підприємства за умови, що технологічний параметр зменшений до рівня θ_i . Таким чином, $b_i(\bar{\theta}_i - \theta_i)$ – це величина втрат i -го підприємства при зміні режиму його роботи, пов'язаній із заданим зменшенням технологічного параметру.

При цьому сумарні втрати всіх підприємств міста:

$$L(\theta) = \sum_{i=1}^K b_i (\bar{\theta}_i - \theta_i), \quad (4.9)$$

Далі потрібно знайти параметр P_i :

$$P_i = \frac{b_i}{g_i}, \quad (4.10)$$

Наступним кроком є знаходження функції цілі. Так, подальше перетворення формули (4.9) з введенням параметру g_i , що обумовлене рівністю (4.10), з метою того, щоб містити ті ж змінні, що і система лінійних обмежень приводить до кінцевого виразу:

$$L(\varphi) = \sum_{i=1}^K P_i \varphi_i, \quad (4.11)$$

де φ_i визначається як рівняння (4.3).

Вираз лінійної форми (4.11) і є функцією цілі.

Таким чином, вирішення задачі лінійного програмування – знайти такі значення $\varphi_i = (i=1, \overline{K})$, які доставляють мінімум лінійної форми (4.11) при лінійних обмеженнях

$$a_{s1}\varphi_1 + a_{s2}\varphi_2 + \dots + a_{sk}\varphi_{sk} \leq \omega_{sn}, \quad (S=\overline{1,L}),$$

де
$$\omega_{sn} = q_{sm} - q_{sn}; \quad \varphi_i \geq 0, \quad (i=\overline{1,K}).$$

4.2 Побудова процедури регуляризації

Сутність регуляризуючого алгоритму в цілому полягає в пошуку наближеного розв'язання задачі (4.11, 4.4, 4.5), за допомогою регуляризуючих алгоритмів, з використанням варіаційного принципу[25].

Задача лінійного програмування пов'язана з мінімізацією функції (4.11), а якщо досягає мінімуму лінійна форма $L(\varphi)$, то мінімальним значенням буде характеризуватись і квадратична форма:

$$L^2(\varphi) = (\sum P_i \varphi_i)^2, \quad (4.12)$$

Тобто процедура регуляризації зводиться до мінімізації деякої квадратичної форми.

Система рівнянь (4.4) в операторній формі має вигляд:

$$A\varphi = \omega, \quad (4.13)$$

Оскільки елементи матриці A відомі неточно, то вимога наближеного дотримання умов (4.13) відповідна введенню штрафних функцій:

$$N^2(\varphi) = \mu \|A\varphi - \omega\|^2, \quad \mu > 0 \quad (4.14)$$

$$\Omega^2(\varphi) = \lambda \sum_{i=1}^K P_i \varphi_i^2, \quad \lambda > 0 \quad (4.15)$$

де μ, λ - параметри регуляризації.

В подальшому умова одержання регуляризуючого алгоритму зводиться до вигляду:

$$M(\varphi) = \left(\sum_{i=1}^K P_i \varphi_i \right)^2 + \mu (A\varphi - \varpi)(A\varphi - \omega) + \lambda \sum_{i=1}^K P_i \varphi_i^2 \rightarrow \min, \quad (4.16)$$

Після ряду перетворень отримується система лінійних неоднорідних алгебраїчних рівнянь:

$$\sum_{j=1}^K d_{ij} \varphi_j = \eta_i, \quad (i = \overline{1, K}) \quad (4.17)$$

щодо шуканих параметрів φ_i , визначених через (4.3), у яких коефіцієнти при невідомих і вільних членах системи лінійних неоднорідних алгебраїчних рівнянь визначаються:

$$d_{ij} = p_i p_j + \mu \sum_{v=1}^L a_{v_i} a_{v_j} + \lambda p_i \delta_{ij}, \quad (i, j = \overline{1, K}) \quad (4.18)$$

δ_{ij} - символ Кронекера, а вільні члени правої частини:

$$\eta_i = \mu \sum_{v=1}^L a_{v_i} \omega_v, \quad (4.19)$$

де μ, λ – параметри регуляризації.

Коефіцієнти і праві частини (4.17) такої системи містять параметри регуляризації μ, λ . Підбір цих параметрів здійснюється шляхом організації процедури ітерації з апріорним заданням початкових значень λ_0, μ_0 для визначення параметрів φ_i .

ВИСНОВКИ

Проблема забруднення атмосферного повітря з кожним роком зростає у всьому світі. Задля покращення стану атмосферного повітря в Україні проводиться політика щодо забезпечення екологічної безпеки. Система екологічної безпеки держави являє собою сукупність державних заходів (правових, економічних, технічних, гуманітарних і медичних), спрямованих на підтримку рівноваги між довкіллям та антропогенним й природним навантаженням. Заходи щодо екологічної безпеки поширюються на всі природні ресурси. Але найбільш значимою є екологічна безпека атмосферного повітря, вкрай важливого для існування і життєдіяльності всіх живих організмів Планети. Тому урядові органи України здійснюють комплекс науково-обґрунтованих соціальних, економічних, санітарно-гігієнічних й інших заходів, які спрямовані на попередження та усунення забруднення атмосферного повітря. Особливе значення приділяється правовим аспектам охорони повітря, які визначаються нормами чинного законодавства.

На сьогоднішній день основними нормативно-правовими актами у сфері охорони атмосферного повітря є Закон України «Про охорону атмосферного повітря», постанови та розпорядження Кабінету Міністрів України.

Значна кількість нормативних актів у сфері охорони атмосферного повітря приймається спеціально уповноваженими центральними органами державної виконавчої влади (міністерствами, державними комітетами, агентствами та іншими відомствами), а також органами місцевого самоврядування адміністративно-територіальних одиниць. У першу чергу до таких актів слід віднести накази Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів (Мінприроди).

Організаційно-правові заходи включають формування нового еколого-правового світогляду, удосконалення екологічного законодавства і нормативно-правової бази запобігання екологічної небезпеки. Вони спрямовані на втілення

екологічного менеджменту на підприємствах, оптимізацію системи моніторингу стану атмосферного повітря, удосконалення державного, адміністративного і громадського контролю за охороною природного середовища та раціональне природокористування.

Однією з важливіших задач щодо покращення якості атмосферного повітря є вдосконалення системи моніторингу. Другою задачею є поліпшення якості відомчого контролю за рахунок встановлення автоматизованих систем спостережень на найбільш крупних джерелах забруднення (підприємствах).

Задля збереження якості атмосферного повітря потрібно провести такі заходи, результатом яких було б зменшення викидів забруднюючих речовин конкретної шкідливої домішки підприємствами при несприятливих метеорологічних умовах.

Визначення залежності між забрудненням атмосфери і метеорологічними умовами є досить складною задачею, що великою мірою обумовлюється характером викидів. Однак можна вважати, що кількість і характер джерел викидів у промисловому місті змінюється незначно. За цих умов переважного значення набуває метеорологічна обумовленість забруднення атмосфери.

В першу чергу на формування полів концентрацій інгредієнтів у приземному шарі атмосфери впливає характер розміщення в межах міста промислових підприємств і напрямок переносу мас повітря.

При проходженні атмосферних фронтів відбувається різка зміна напрямку вітру в граничному шарі повітря, а також, напрямку переносу домішок від джерела. Таким чином, одне і теж джерело при різних напрямках вітру забруднює повітря над різними районами. Отже, напрямок вітру в граничному шарі справляє значний вплив на формування умов забруднення повітря промисловими викидами.

До переліку факторів, що впливають на розподіл шкідливих домішок в атмосфері, варто віднести наступні характеристики: концентрацію домішки за попередній термін; температуру повітря; вологість; напрямок і швидкість вітру біля землі і на різних рівнях; градієнт температури і швидкості вітру в різних

шарах атмосфери; характеристики інверсії; показники турбулентності; бал хмарності й атмосферні явища.

Також ще не мало важливими факторами, що формують поле концентрації забруднюючої речовини в повітряному просторі міста у деякий момент часу є кількість, характер, режим роботи і розміщення джерел викидів шкідливих речовин. Основними джерелами викидів є промислові підприємства і транспорт.

Оскільки формування поля забруднення атмосферного повітря обумовлюється станом граничного шару атмосфери, який є турбулентним середовищем, поля концентрацій забруднюючої речовини розглядаються як випадкові поля.

Статистична структура випадкових полів характеризується математичними сподіваннями і матрицею коваріації, статистичні оцінки яких знаходяться осередненням по всьому набору можливих реалізацій полів.

Випадкове поле, задане значеннями випадкової величини в деякий момент часу, можна представити випадковим вектором, координати якого є значеннями цієї величини в фіксованих точках простору. Статистична сукупність таких полів в обсязі може задаватися матрицею.

Така форма представлення інформації про досліджуванні поля дуже зручна, тому що дає можливість одержати прості алгоритми розрахунку. Тому після формування матриці вихідних даних потрібно провести розрахунок середнього значення концентрацій на кожному КВП. Потім будується матриця центрованих значень концентрацій, далі відбувається транспонування матриці, після чого розраховується матриця коваріації. Наступним кроком відбувається формування діагональної матриці середніх квадратичних відхилень. Нарешті, для визначення матриці кореляцій потрібно знайти зворотню матрицю. Матриця кореляцій містить інформацію про поля кореляцій, тому що кожен з її рядків відбиває поле кореляцій з полюсом кореляції в точці, номер якої визначається номером елемента рядка, рівного одиниці. Якщо виявиться, що поля кореляцій з різними полюсами мають приблизно однакові горизонтальні

градієнти в різних напрямках і мало відрізняються одне від одного, можна стверджувати, що поля випадкової величини є квазіоднорідними й квазіізотропними. У такому випадку особливості структури полів випадкової величини, містяться у структурі полів її середнього значення і дисперсії.

У прикладних задачах прийнято використовувати лінійне перетворення випадкових векторів (полів). Завдяки некорельованості нових змінних, спрощується фізичний аналіз статистичних моделей. Ортогональні компоненти часто відбивають ті чи інші фізичні процеси, які визначають основні особливості вихідних полів.

Власні значення матриці є дисперсіями ортогональних компонент, а сума всіх власних значень матриці коваріацій дорівнює сумарній дисперсії вихідних полів.

Отже, випадкові коефіцієнти розкладання являють собою певну інтегральну характеристику забруднення атмосфери, а кожний власний вектор являє собою поле. Так як матриця формується із власних векторів у порядку збільшення власних значень, то власні вектори, які відносяться до найбільших власних значень, характеризують найбільш масштабні особливості поля забруднення повітряного басейну.

Те ж саме відноситься і до коефіцієнтів розкладання. Обмежуючись визначеним масштабом процесів, структура яких вичерпується завданою сумарною дисперсією, поле забруднення можливо охарактеризувати невеликим числом головних компонентів.

Головна перевага розкладання полів випадкових величин по емпіричних ортогональних функціях полягає в тому, що воно дозволяє сконцентрувати основну інформацію про стан поля в мінімальному числі параметрів, тобто обмежитись використанням тільки декількох перших членів ряду. При цьому виділяються найбільш часто повторювані типи полів.

Другою важливою властивістю методу є те, що він дозволяє відокремити інформацію про крупномасштабні властивості поля від незначної

дрібномасштабної інформації, що підвищує надійність використовуваних вихідних даних.

Ці методи статистичного аналізу дають можливість визначити головні особливості полів забруднення атмосферного повітря промислових територій (наприклад міст), які залежать від стохастичних процесів метеорологічних умов і антропогенного навантаження

Найважливішою задачею збереження довкілля є охорона повітряного басейну великих промислових міст, де мешкає переважна кількість населення країни. Задачі збереження якості атмосферного повітря полягає в тому, що доцільно було б провести обмеження викидів, наприклад, конкретної шкідливої домішки підприємствами при несприятливих метеорологічних умовах таким чином, щоб сумарні економічні витрати були мінімальними. Така постановка питання по-суті є задачею оптимального планування полів концентрації шкідливих домішок в атмосфері великого міста. Її можна сформулювати таким чином: треба встановити такі умови викиду для кожного джерела, щоб при самих несприятливих метеорологічних станах граничного шару атмосфери створювали б задане поле концентрації інгредієнту при умові мінімуму цільової функції. В якості останньої можуть виступати, наприклад, сумарні економічні витрати всіх промислових об'єктів, які пов'язані із зменшенням потужності, або умовами викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря.

Іншими словами, при зменшенні потужності викидів забруднюючих речовин від промислових підприємств необхідний вірний вибір виробництв, які потрібно зупиняти, або обсяги викидів від яких необхідно скорочувати, вірне визначення кількості зниження потужності викиду при одночасному скороченні викидів всіх джерел. Безумовно, процеси регулювання режиму роботи будь-яких підприємств ведуть до зниження виробництва, а значить, неминучі певні економічні втрати. Задача регулювання полягає в тому, щоб таким чином організувати регулювання режиму роботи підприємств, які вносять найбільший внесок в забруднення атмосфери міста, щоб досягти деякого планованого поля концентрації шкідливої домішки за несприятливих метеорологічних умов з

найменшими сумарними економічними витратами. Тобто, задача регулювання викидів забруднюючих речовин промисловими підприємствами зводиться до визначення оптимального плану їх роботи.

Будь-яка задача оптимізації вирішується за допомогою методів лінійного або нелінійного програмування. Тому спочатку вирішується дві задачі: побудова лінійних обмежень і цільової функції.

Територія міста характеризується розташуванням на ній значної кількості джерел забруднення. Їх сумарний вплив за певних метеорологічних умов формує на території міста поля концентрацій шкідливих домішок. Такі поля можна визначити за допомогою вимірів на контрольно-вимірювальних постах (КВП).

Для вирішення такої задачі необхідне залучення математичного апарату на основі методів статистичного аналізу, з використанням інформації щодо поля концентрації певного інгредієнту та інформації щодо характеристик джерел забруднення.

Очевидним є припущення щодо існування статистичної залежності між концентрацією домішки q_j на j -тому КВП і концентраціями інгредієнту в точках максимуму концентрацій C_m . Така залежність може бути визначена системою лінійних рівнянь множинної регресії.

Якщо побудувати на території міста прямокутну систему координат, то кожній точці можна поставити у відповідність значення кореляції між концентраціями інгредієнта в полюсі кореляції й у даній точці. Це справедливо для будь-якої точки поля кореляцій, у тому числі і для точок максимуму концентрацій інгредієнта. За поліномом Чебишова можна по координатах точок максимуму концентрації для деякого поля визначити кореляційні моменти і таким чином знайти оцінки коефіцієнтів регресії.

Апроксимація полів кореляції концентрацій шкідливих домішок в атмосфері міста дає можливість знайти коефіцієнти системи рівнянь регресії. Це в свою чергу дає можливість визначити, що зменшення поля концентрацій при даних метеорологічних умовах можливо тільки шляхом зменшення викидів

підприємств. План регулювання викидів джерел, який забезпечує задане поле концентрацій інгредієнта, як вже зазначалось вище, повинен бути оптимальним. Це значить, що підприємствам необхідно визначити при даних метеорологічних умовах такі технологічні параметри, які приводили б до запланованого поля концентрацій інгредієнта, з одного боку, і зводили б економічні втрати до мінімуму, тобто задовольняли би функції цілі.

Тому потрібна побудова алгоритму регулювання режиму роботи підприємства (процедура регуляризації). Його сутність полягає в пошуку наближеного розв'язання задачі щодо лінійних обмежень та знаходження функції цілі, за допомогою регуляризуючих алгоритмів, з використанням варіаційного принципу. Регуляризуючий алгоритм виконується за допомогою ітераційної процедури з метою підбору параметрів регуляризації.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Конституція України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/254к/96-вр> (дата звернення 24.11.2019)
2. Законом України «Про охорону навколишнього природного середовища» . URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12> (дата звернення 24.11.2019)
3. Постанова Верховної Ради України «Про Основні напрями державної політики України у галузі охорони довкілля, використання природних ресурсів та забезпечення екологічної безпеки. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/188/98-вр> (дата звернення 24.11.2019)
4. Законом України «Про охорону атмосферного повітря» . URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2707-12> (дата звернення 24.11.2019)
5. Законом України «Основи законодавства України про охорону здоров'я» . URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2801-12> (дата звернення 24.11.2019)
6. Законі України "Про основи містобудування". URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2780-12> (дата звернення 24.11.2019)
7. Законі України "Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення". URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/4004-12> (дата звернення 24.11.2019)
8. Законі України «Про автомобільний транспорт» . URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2344-14> (дата звернення 24.11.2019)
9. Законом України «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року» . URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2697-19> (дата звернення 24.11.2019)
10. Постанова КМУ «Про Порядок розроблення та затвердження нормативів екологічної безпеки атмосферного повітря» . URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/299-2002-п> (дата звернення 24.11.2019)

11. Постанова КМУ «Про затвердження Порядку розроблення та затвердження нормативів граничнодопустимих викидів забруднюючих речовин із стаціонарних джерел» . URL:<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1780-2001-п>(дата звернення 24.11.2019)

12. Постанова КМУ «Про затвердження Порядку погодження і видачі дозволів на провадження діяльності, пов'язаної із штучними змінами стану атмосфери та атмосферних явищ у господарських цілях» . URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/301-2002>(дата звернення 24.11.2019)

13. Постанова КМУ «Про затвердження Порядку розроблення та затвердження нормативів вмісту забруднюючих речовин у відпрацьованих газах та впливу фізичних факторів пересувних джерел забруднення атмосферного повітря» . URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/303-2002-п> (дата звернення 24.11.2019)

14. Постанова КМУ «Про затвердження Порядку проведення та оплати робіт, пов'язаних з видачею дозволів на викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря стаціонарними джерелами, обліку підприємств, установ, організацій та громадян - підприємців, які отримали такі дозволи» . URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/302-2002-п> (дата звернення 24.11.2019)

15. Законі України «Про стандартизацію» . URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1315-18>(дата звернення 24.11.2019)

16. Постанова КМУ «Про затвердження Порядку ведення державного обліку в галузі охорони атмосферного повітря» . URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1655-2001-п>(дата звернення 24.11.2019)

17. Наказ «Про затвердження Інструкції про порядок та критерії взяття на державний облік об'єктів, які справляють або можуть справити шкідливий вплив на здоров'я людей і стан атмосферного повітря, видів та обсягів забруднюючих речовин, що викидаються в атмосферне повітря» . URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0445-02>(дата звернення 24.11.2019)

18. Постанова КМУ «Про затвердження Положення про державну систему моніторингу довкілля» . URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/391-98-п> (дата звернення 24.11.2019)

19. Законом України «Про гідрометеорологічну діяльність» . URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/443-14>(дата звернення 24.11.2019)

20. Звіт про науково-дослідну роботу «Оцінка екологічного стану і оптимізація антропогенного навантаження на повітряний басейн великого міста», № держреєстрації 0103U003648, Одеса, 2004. – 82 с.

21. Моніторинг і стан довкілля. URL: http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Npundgi_2013_265_13.pdf (дата звернення 10.05.2020)

22. Процеси формування складу атмосферного повітря міського середовища та його охорона. URL: <http://eztuir.ztu.edu.ua/-jspui/bitstream/123456789/566/1/110.pdf> (дата звернення 10.05.2020)

23. Прогнозування метеорологічних умов формування рівнів забруднення повітря в містах України. URL: https://meteo.gov.ua/files/-content/docs/meteo_kerdoc/%D0%9A%D0%9452.9.4.01-09.pdf (дата звернення 10.05.2020)

24. Лоева І. Д. Оцінка стану забруднення атмосферного повітря великого міста: методи аналізу, прогнозу, регулювання. Монографія./ І. Д. Лоева, О. Г.Владимирова, В. А. Верлан. – Одеса: Екологія, 2010. – 224 с.

25. Звіт про науково-дослідну роботу«Адаптація моделі планування полів концентрації забруднюючих речовин у атмосферному повітрі м. Одеса» URL:http://eprints.library.odeku.edu.ua/2152/1/Zvit_K_Loyeva_0114U006583_2015.pdf (дата звернення 10.05.2020)

26. <https://life.pravda.com.ua/society/2012/03/1/97087/>

27. <https://ua-energy.org/uk/posts/yak-ukraina-vymiriuiie-zabrudnennia-povitria>

28. <https://uhmj.odeku.edu.ua/wp-content/uploads/2013/10/4.pdf>

29. Лоева И.Д., Гуревич А.А. Верлан В.А. Рациональное размещение сети постов мониторинга за загрязнением атмосферы в промышленном городе // Метеорология, климатология и гидрология, вып.36, 1999, С. 283-287.