

О.Г. Лялюк, Г.С. Ратушняк

МОНІТОРИНГ ДОВКІЛЛЯ

Вінниця ВНТУ 2004

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

О.Г. Лялюк, Г.С. Ратушняк

МОНІТОРИНГ ДОВКІЛЛЯ

Затверджено Вченою радою Вінницького національного технічного університету як навчальний посібник для студентів спеціальності «Теплогазопостачання та вентиляція». Протокол № 6 від 27 січня 2004 р.

Вінниця ВНТУ 2004

Рецензенти:

А.Ф. Пономарчук, доктор технічних наук, професор (ВНТУ)

С.Й. Ткаченко, доктор технічних наук, професор (ВНТУ)

О.В. Ковальчук, кандидат технічних наук, доцент (ВДПУ)

Рекомендовано до видання Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України

Лялюк О.Г., Ратушняк Г.С.

Р 25 Моніторинг довкілля. Навчальний посібник. - Вінниця: ВНТУ, 2004.- 140 с.

З позицій системного підходу викладені теоретичні основи та сучасні проблеми моніторингу довкілля, антропогенний вплив на атмосферу, гідросферу і літосферу. Значну увагу приділено організації та проведенню спостережень за рівнем забруднення природного середовища. Розкриваються питання моніторингу радіаційної безпеки на об'єктах житлово-цивільного призначення.

Розглянуті нормування і прогнозування в структурі моніторингу довкілля та прийняття управлінських рішень щодо раціонального природокористування.

УДК 502.35

Передмова	5
1. Загальні аспекти моніторингу довкілля	7
1.1 Мета та функції моніторингу довкілля	7
1.2 Екологічні вимоги до об'єктів господарчої діяльності	10
1.3 Джерела та наслідки забруднення довкілля	14
1.4 Управління охороною довкілля та раціональним природоко- ристуванням	19
2. Оцінювання стану забруднення атмосфери	24
2.1 Характеристика атмосфери та джерел забруднення повітря	24
2.2 Організація та проведення спостережень за забрудненням атмосфери	28
2.2.1 Мета і види обстеження стану атмосфери	28
2.2.2 Організація спостережень за забрудненням атмосферного повітря	29
2.2.3 Обробка та аналіз матеріалів спостережень за забрудненням атмо- сфери	33
2.3 Методи й технічні засоби відбору проб повітря	34
2.3.1 Методи вимірювання шкідливих речовин в атмосферному повітрі	34
2.3.2 Поглинальне обладнання	35
2.3.3 Фільтри й фільтроутримувачі	37
2.3.4 Витратоміри повітря	38
2.3.5 Побудники витрати повітря та електроаспіратори	40
2.4 Методи й засоби лабораторного та автоматичного контролю стану атмосферного повітря	43
2.4.1 Спектрофотометричний метод лабораторного аналізу проб повітря	43
2.4.2 Метод газової хроматографії лабораторного аналізу проб повітря	46
2.4.3 Електрохімічний метод та апаратура для його реалізації	47
2.4.4 Інфрачервоний метод й прилади для його реалізації	49
2.4.5 Люмінесцентний метод й прилади для його реалізації	50
2.4.6 Полум'яно-іонізаційний метод й прилади для його реалізації	52
2.4.7 Комплексні лабораторії для спостереження за станом атмосферного повітря	52
3. Управління й прогнозування в системі моніторингу атмосферного повітря	58
3.1 Правові й організаційні основи моніторингу атмосферного повітря	58
3.2 Моделювання та оцінювання якості повітряного басейну.	60

3.3	Прогнозування та розрахунок забруднення атмосферного повітря	67
3.3.1	Прогнозування рівнів забруднення атмосферного повітря	67
3.3.2	Розрахунок забруднення атмосферного повітря транспортними засобами	69
3.3.3	Розрахунок викидів забруднюючих речовин при спалюванні палива	70
3.3.4	Розрахунок максимальних концентрацій шкідливих речовин від джерела викидів в атмосферу	72
3.4	Економічний механізм забезпечення моніторингу атмосферного повітря	74
4.	Моніторинг гідросфери	76
4.1	Характеристика водних об'єктів	76
4.2	Водні ресурси та їх використання	80
4.3	Загальні аспекти забруднення гідросфери	83
4.4	Організація спостереження за забрудненням водного середовища	86
4.5	Інтегральні показники забруднення водного басейну	91
4.6	Оцінювання якості водного басейну та прогнозування його стану	93
4.6.1	Вимоги до якості води водного басейну	93
4.6.2	Методи оцінювання прогнозованого стану водного басейну	95
4.6.3	Класифікація математичних моделей річкових самоочисних процесів	97
5.	Моніторинг літосфери	104
5.1	Грунтово-земельні ресурси літосфери та антропогенний вплив на них	104
5.2	Організація спостережень за забрудненням ґрунтів	108
5.3	Оцінювання якості ґрунтів та прогнозування їх стану	111
5.4	Моделювання умов теплового забезпечення верхнього шару літосфери	116
6.	Моніторинг радіаційної небезпеки	120
6.1	Основні джерела радіаційного забруднення	120
6.2	Алгоритм моніторингу радіаційного фактора	122
6.3	Моделювання рівнів радононебезпеки	124
6.4	Організаційно-технологічне забезпечення зменшення радіаційної небезпеки	132
	Література	138

Відповідно до Конституції України “Забезпечення екологічної безпеки і підтримання екологічної рівноваги на території України, подолання наслідків Чорнобильської катастрофи - катастрофи планетарного масштабу, збереження генофонду українського народу є обов’язком держави” (ст.16, Конституція України). Правові й організаційні основи та екологічні вимоги з точки зору моніторингу довкілля з метою регулювання відносин в цій галузі, збереження, поліпшення й відтворення його стану, а також посилення правопорядку та законності в даній сфері, передбачені чинним законодавством України [3, 4, 5, 7, 9, 21-27].

Напружене екологічне становище в Україні, яке склалося в результаті антропогенного забруднення навколишнього середовища, потребує удоскопалення форм й методів екологічної підготовки спеціалістів. Вирішення складних завдань раціонального природокористування вимагає від них розроблення та впровадження оптимальних варіантів безвідходних та маловідходних технологічних процесів.

Щорічно більше 160 млн.т діоксиду сірки та дещо менше оксидів азоту викидається в атмосферу Землі в результаті антропогенної діяльності. Внаслідок цього випадають кислотні дощі, які є причиною щорічних збитків. За останні 200 років людство збільшило вміст оксидів вуглецю в атмосфері на 25% за рахунок спалювання органічних речовин. В результаті виникнення парникового ефекту збільшується температура Землі, що може привести до небажаних екологічних, економічних та соціальних наслідків.

На території Вінницької області, яка входить в зону посиленого радіоекологічного контролю зі щільністю радіоактивного забруднення від 1 до 5 Кі/км², проживає понад 130 тисяч чоловік. Джерелом радіонуклідів є будівельні матеріали. Найбільшу небезпеку для людини становить опромінення від радону, який виділяється із гранітних товщ Землі.

Несприятливі зміни довкілля в Україні, що породжені функціонуванням всього господарчого комплексу, негативно відбиваються на життєдіяльності людей і деградації біосфери в цілому. Оптимальні з природоохоронних позицій проєктування, будівництво й експлуатація об’єктів повинні визначатися з врахуванням екологічних показників та характеристик, виходячи з керівного критерію – пріоритету інтересів провідного природокористувача, тобто людини.

Моніторинг довкілля, базується на сучасних методах дослідження проблеми взаємодії природи й суспільства, що ґрунтується на математичних моделях збереження й перетворення енергії та речовини між компонентами географічної оболонки з врахуванням антропогенних факторів. Проблема якісної практичної підготовки інженерів-будівельників знаходиться в тісному взаємозв'язку з отриманням ними знань з раціонального використання та охорони природних ресурсів в умовах інтенсивної антропогенної діяльності. Рішення цієї задачі вимагає відповідного методичного забезпечення навчального процесу, яке б дозволяло розвивати екологічне мислення в отриманні навичок та умінь при проектуванні, будівництві та експлуатації господарчих об'єктів на основі раціонального природокористування.

В навчальному посібнику наведені вимоги нормативно-технічних актів, що регламентують моніторинг довкілля та інженерні методи охорони біосфери. В сконцентрованому вигляді викладені сучасні положення, що пов'язані з розвитком науки й техніки, з вдосконаленням моніторингу охорони довкілля. При викладенні матеріалу навчального посібника використані результати наукових досліджень Лялюк О.Г. з питань моніторингу радіаційної небезпеки, Мокіна В.Б. з математичного моделювання щодо оцінювання якості річкових вод та Ратушняка Г.С. з гідрологокліматичного оцінювання та моделювання умов тепловологозабезпечення верхнього шару літосфери.

Матеріал посібника враховує специфіку програм дисциплін підготовки інженерів-будівельників. Посібник призначений для активізації самостійної роботи студентів. В зв'язку з цим окремі теоретичні положення мають специфічну методику викладання та супроводжуються прикладами, що роз'яснюють теорію та суть питань, що розглядаються.

Автори щиро вдячні рецензентам за поради та зауваження, врахування яких сприяло покращенню змісту даного навчального посібника, а також інженеру обчислювального центру Франишиній Т.О. за комп'ютерний набір.

1 ЗАГАЛЬНІ АСПЕКТИ МОНІТОРИНГУ ДОВКІЛЛЯ

1.1 Мета та функції моніторингу довкілля

Природне середовище як сполучення природних та природно-антропогенних тіл й факторів, що впливають на природні ресурси та економічні показники господарчої діяльності, постійно знаходиться у взаємодії з об'єктами урбанізованої території. Урбанізована територія та техногенні системи в існуючій практичній реалізації не завжди виступають як однологічно ціле. Якщо на навколишнє середовище діють нерегульовані техногенні процеси, то це викликає негативні явища. В результаті виникає необхідність в створенні природно-технологічних комплексів, в яких сполучення елементів технічних систем з природним середовищем відбувається за принципами забезпечення цілісності, організованості та керуваності.

Система моніторингу довкілля – це система спостережень, збирання, оброблення, передавання, збереження 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.

Система моніторингу – це відкрита інформаційна система. Її пріоритетами функціонування є захист життєво важливих екологічних інтересів людини і суспільства, збереження природних екосистем, відвернення кризових змін екологічного стану довкілля і запобігання надзвичайним екологічним ситуаціям.

Створення і функціонування системи моніторингу з метою інтеграції екологічних інформаційних систем, що охоплюють певні території, ґрунтуються на принципах:

- узгодженості нормативно-правового та організаційно-методичного забезпечення;
- сумісності технічного, інформаційного і програмного забезпечення її складових частин;
- систематичності спостережень за станом довкілля та техногенними об'єктами, що впливають на нього;
- своєчасності отримання, комплексності оброблення та використання екологічної інформації, що надходить і зберігається в системі моніторингу;
- об'єктивності первинної, аналітичної і прогнозної екологічної інформації та оперативності її доведення до органів виконавчої влади та місцевого самоврядування, населення та громадських організацій, засобів інформації, заінтересованих міжнародних установ та світового співтовариства.

Моніторинг довкілля здійснюється центральними державними органами та їх підрозділами на місцях, а також підприємствами, установами та організаціями, що належать до сфери їх управління. Ці органи та підрозділи є суб'єктами системи моніторингу за загальнодержавною і регіональними програмами реалізації відповідних природоохоронних заходів.

Фінансування робіт із створення і функціонування системи моніторингу та її складових частин здійснюється відповідно до порядку фінансування природоохоронних заходів за рахунок коштів, передбачених у державному та місцевих бюджетах згідно із законодавством. Покриття певної частини витрат на створення і функціонування складових частин і компонентів системи моніторингу може здійснюватися за рахунок інноваційних фондів у межах коштів, передбачених на природоохоронні заходи, міжнародних грантів та інших джерел фінансування.

Система моніторингу спрямована на:

- підвищення рівня вивчення і знань про екологічний стан довкілля;
- підвищення оперативності та якості інформаційного обслуговування користувачів на всіх рівнях;
- підвищення якості обґрунтування природоохоронних заходів та ефективності їх здійснення;
- сприяння розвитку міжнародного співробітництва у галузі охорони довкілля, раціонального використання природних ресурсів та екологічної безпеки.

Основними завданнями суб'єктів системи моніторингу є:

- довгострокові систематичні спостереження за станом довкілля;
- аналіз екологічного стану довкілля та прогнозування його змін;
- інформаційно-аналітична підтримка прийняття рішень у галузі охорони довкілля, раціонального використання природних ресурсів та екологічної безпеки;
- інформаційне обслуговування органів виконавчої влади та місцевого самоврядування, а також забезпечення екологічною інформацією населення країни і міжнародних організацій.

Система моніторингу ґрунтується на використанні існуючих організаційних структур суб'єктів моніторингу. Вона функціонує на основі єдиного нормативного організаційного, методологічного і метрологічного забезпечення, об'єднання складових частин та уніфікованих компонентів цієї системи.

Методологічне забезпечення об'єднання складових частин і компонентів системи моніторингу здійснюється на основі:

- єдиної науково-методичної бази щодо вимірювання параметрів і визначення показників стану довкілля, біоти і джерел антропогенного впливу на них;
- впровадження уніфікованих методів аналізу і прогнозування властивостей довкілля, комп'ютеризації процесів діяльності та інформаційної комунікації;
- загальних правил створення і ведення розподілених баз та банків даних і знань, картування і картографування екологічної інформації, стандартних технологій з використанням географічних інформаційних систем.

Метрологічне забезпечення об'єднання складових частин і компонентів системи моніторингу здійснюється на основі:

- єдиної науково-технічної політики щодо стандартизації, метрології та сертифікації вимірювального, комп'ютерного і комунікаційного обладнання;

- єдиної нормативно-методичної бази, що забезпечує достовірність і порівнянність вимірювань і результатів оброблення екологічної інформації в усіх складових частинах цієї системи.

Мета моніторингу - виявити критичні та екстремальні ситуації, фактори антропогенної дії на довкілля, проводити оцінювання, моделювання й прогнозування стану об'єктів спостереження, керувати дією й впливом об'єктів техносфери, атмосфери, гідросфери і літосфери.

Блок-схема моніторингу довкілля як системи в цілому представлена на рис.1.1.

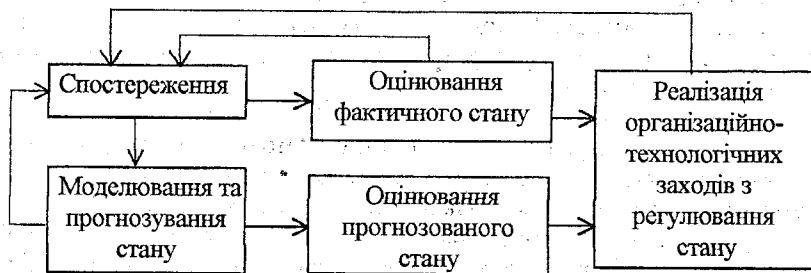


Рисунок 1.1 - Блок-схема системи моніторингу довкілля

Існує три рівні спостереження за станом навколишнього середовища: космічні з супутників або пілотованих кораблів; аероспостереження з літаків; наземні - рухомі, нерухомі та стаціонарні.

Види моніторингу: медико-біологічний - тобто контроль факторів, що пов'язані із здоров'ям людини; екологічний - контроль стану екосистеми; кліматичний - контроль за станом клімату.

Основні функції моніторингу:

- контроль за станом атмосфери, гідросфери та літосфери;
- контроль за джерелами забруднення, що впливають на зміну екологічної рівноваги довкілля;
- моделювання та прогнозування екологічного стану атмосфери, гідросфери та літосфери;
- керування за допомогою організаційно-технологічних заходів екологічними процесами.

Для отримання повної та оперативної інформації про стан довкілля використовуються засоби контролю екологічних систем. За впливом на об'єкти довкілля вони бувають контактні та неконтактні. Контактні засоби контролю базуються на фізико-хімічних процесах при безпосередньому контакті з досліджуванним об'єктом. Неконтактні засоби контролю базу-

ються на властивостях електромагнітного, гравітаційного чи акустичного поля, що зондується, переносити інформацію до відповідних датчиків при взаємодії з досліджуваним об'єктом. Неконтактні засоби контролю бувають активні та пасивні. Активні - прийом відбитого, проникаючого зондуючого поля, що створене стороннім джерелом енергії. Пасивні - прийом зондуючого поля безпосередньо від об'єкта контролю екологічної системи.

В залежності від контрольованих показників довкілля засоби контролю поділяють на структурні та функціональні. До структурних відносяться такі, що контролюють абсолютні або відносні значення фізико-хімічних чи біологічних параметрів, а до функціональних - продуктивність, швидкість та кругообіг речовин.

Моделювання якості довкілля базується на основі інформації про шкідливі викиди за результатами інвентаризації стаціонарних та пересувних джерел забруднення. Методи моделювання ґрунтуються на законах, що описують процес дифузії, переносу і розсіювання шкідливих речовин в навколишньому середовищі.

При прогнозуванні стану забруднення довкілля оцінюється санітарна ситуація в районі та перспективи її розвитку. Методи прогнозування базуються на результатах теоретичного й експериментального дослідження закономірностей розповсюдження шкідливих інгредієнтів від їх джерел.

Управління моніторингу довкілля представляє собою програмний комплекс, що об'єднаний в систему постійно діючих моделей, в яких зміни стану одного з природних факторів або техногенного навантаження відображається в вигляді ідентифікованої реакції об'єкта управління.

1.2 Екологічні вимоги до об'єктів господарчої діяльності

Загальною тенденцією вирішення проблеми попередження забруднення довкілля є жорсткі вимоги до підприємств щодо обмеження викидів газоподібних, твердих і рідких домішок в навколишнє середовище. Організаційно-правові питання раціонального природокористування та охорони довкілля відображаються в екологічному паспорті об'єкта господарської діяльності.

Екологічний паспорт підприємства - це нормативно-технічний документ, який включає дані про використання підприємством ресурсів (природних, вторинних та інших) та визначенню впливу виробництва на навколишнє середовище. Екологічний паспорт підприємства представляє комплекс даних, що виражені через систему показників, які відображають рівень використання підприємством природних ресурсів та міру його впливу на навколишнє середовище. Екологічний паспорт розробляє підприємство за рахунок власних коштів й затверджує керівник підприємства за узгодженням з місцевою владою й державним управлінням екологічної безпеки, де він реєструється.

Основою для розробки екологічного паспорта є основні показники виробництва, проекти розрахунків гранично допустимих викидів (ГДВ),

норми гранично допустимих стоків (ГДС), дозвіл на природокористування, паспорта газо- й водоочисних споруд та установок для утилізації й використання відходів, форми державної статистичної звітності та інші нормативні й нормативно-технічні документи.

Структура й зміст екологічного паспорта підприємства визначаються державним стандартом. Екологічний паспорт підприємства включає розділи, які розміщуються в такій послідовності:

- титульний аркуш;
- загальні відомості про підприємство та його реквізити;
- коротка природнокліматична характеристика району розміщення підприємства;
- короткий опис технології виробництва й відомості про продукцію, балансова схема матеріальних потоків;
- відомості про використання земельних ресурсів;
- характеристика сировини, матеріальних й енергетичних ресурсів, що використовуються;
- характеристика викидів в атмосферу;
- характеристика водоспоживання та водовідведення;
- характеристика відходів;
- відомості про рекультивацію земель;
- відомості про транспорт підприємства;
- відомості про еколого-економічну діяльність підприємства.

Загальні відомості про підприємство та його реквізити включають: його назву; міністерство чи відомство; адресу, телекс, факс; прізвище, ім'я та по батькові та телефон директора, головного інженера і відповідального за охорону природи; номери банківських рахунків та назву банку; назву й адресу проектувальника; назву та реквізити організації, що контролює.

Коротка природо-кліматична характеристика району розміщення підприємства містить: характеристику кліматичних умов; характеристику фонові концентрації атмосфери; характеристику джерел водозабору й приймачів стічних вод; фоновий хімічний склад води водних об'єктів.

Характеристика виробництва та його продукції включає: перелік цехів та їх установлену потужність; назву організації; назву продукції, яка випускається, її код та обсяги планові та фактичні; балансову схему матеріальних потоків.

Характеристика використання земельних ресурсів містить: відвід земель на постійне користування під будівлі й споруди основного та допоміжного виробництва й адміністративно-побутового призначення з твердим покриттям; сховища і накопичувачі стічних вод; водогони та озеленення; санітарні захисні зони; відвід земель на тимчасове користування під склади будівельних матеріалів; дороги, трубопроводи, лінії електропередач та інші постійні споруди.

Характеристика сировини, матеріальних й енергетичних ресурсів, що використовуються, включає їх назву, хімічний склад та витрати; витрати

на вид виробництва продукції електроенергії й газу, мазуту, вугілля та втрати теплової енергії від власної котельні за рахунок вторинних ресурсів.

Характеристика викидів в атмосферу відображає склад, якість й кількість вмісту забруднюючих атмосферу речовин, що є в викидах підприємства. Характеристика джерел виділення й викидів шкідливих речовин містить параметри джерела викиду (висота, поперечний переріз або діаметр, довжина), назву шкідливої речовини та її кількість, назву пило-газоуловлювальної установки та її коефіцієнт корисної дії, капітальні затрати на газоочистку, одноразові максимальні та річні сумарні викиди шкідливих речовин.

Відомості про водоспоживання, водовідведення, стан водоочисних споруд відображають обсяги, питомі нормативи, склад, якісні та кількісні значення вмісту забруднюючих речовин в стічних водах підприємства. Також вказується час, обсяги й склад залпових та аварійних викидів забруднюючих речовин, в тому числі в ґрунт, водні об'єкти, каналізаційні мережі, на очисні споруди, відстійники, окремі резервуари тощо.

Характеристика відходів, перелік полігонів та накопичувачів, що призначені для захоронення, приводиться для кожної шкідливої речовини з врахуванням їх очищення. Наводяться їх фізико-хімічна характеристика, кількість, що передана іншим підприємствам, використано на підприємстві, знешкоджено, захоронено, причини невикористаних відходів, параметри полігонів й накопичувачів, що призначені для захоронення відходів.

Відомості про рекультивацію порушених земель та зняття порушеного шару ґрунту, що включають розміри ділянок під пашиною та іншими угіддями, під лісовими посадками, під водосховищами, а також обсяги земляних робіт при знятті ґрунту й рекультивації.

Характеристика транспорту підприємства з врахуванням внутрізаводського. Вказують види транспорту, кількість власного та того, що заїжджає, середній річний пробіг на одиницю транспорту та загальний пробіг, характеристику його технічного стану. Наводять дані про питомі та річні викиди оксиду вуглецю, вуглеводних, оксиду азоту та парів палива, тетраетил свинцю, сажі.

Згідно з вимогами чинних нормативних документів при розробці техніко-економічного обґрунтування на проектування, будівництво, розширення, реконструкцію і експлуатацію підприємств за їх дією на навколишнє середовище їх ділять на 5 класів. Класифікація підприємств в залежності від їх впливу на навколишнє середовище наведена в табл. 1.1.

Санітарно-захисна зона (СЗЗ) підприємства - ділянка землі, яка відділяє промислове підприємство від селітебної зони (житлових масивів чи окремих будинків) і заважає розповсюдженню шуму, пилових й газових шкідливих речовин в житлову зону за рахунок осадження, уловлювання та засвоєння їх зеленими насадженнями.

Ширина СЗЗ відповідно “Санітарним нормам проектування промислових підприємств” в залежності від їх класу, що характеризує ступінь забруднення повітря поблизу підприємства, рівна 50-1000 м (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 - Класифікація підприємств в залежності від їх впливу на навколишнє середовище

Клас підприємств	Характеристика підприємств	Ширина санітарно-захисної зони, м
I	Виробництво сталі, алюмінію, випалювання коксу, вторинна переробка кольорових металів, добування природного газу переробкою нафти чи вугілля	1000
II	Виробництво свинцевих акумуляторів, гіпсу чи пластичних мас, добування горючих сланців, кам'яного та бурого вугілля	500
III	Виробництво, освинцьованого або з гумовою ізоляцією кабелю, брикетів з дрібного вугілля та торфу, виробництво скляної вати, толо, рубероїду, асфальтобетону, різних лаків та олифі	300
IV	Металообробна промисловість з чавунним, сталевим і кольоровим литтям, виробництво машин і приладів електротехнічної промисловості, котлів, металевих електродів, цегли, будматеріалів з відходів ТЕЦ	100
V	Термічна обробка без ливарних цехів, виробництво акумуляторів, електротехнічних приладів без застосування ртуті та лиття, друкарні, пункти очищення та промивання цистерн, виробництво стиснутих та зріджених продуктів розділення повітря	50

Для дуже шкідливих виробництв допускається збільшення СЗЗ до 3000 м. При проектуванні, реконструкції й модернізації підприємства СЗЗ уточнюють з урахуванням характеру й напрямку вітру.

Розмір уточненої зони з врахуванням напрямлення вітру в даній місцевості обчислюють за формулою:

$$L = \frac{L_0 P}{P_0}, \text{ м} \quad (1.1)$$

де L_0 - розрахунковий розмір ділянки місцевості в даному напрямку, де концентрація шкідливих речовин з урахуванням фонові концентрації перевищує гранично допустиму концентрацію, м;

P - середньорічна повторність напрямку румба вітру, який розглядається, %;

P_0 - середньорічна повторність напрямку одного румба вітру при круговій розі вітрів, %.

1.3 Джерела та наслідки забруднення довкілля

Антропогенна дія на довкілля відбувається при взаємодії природного середовища з технікою та безпосередньо людиною. В результаті техногенної дії на природне середовище відбувається його забруднення, технічне перетворення та руйнація природних систем і ландшафтів, виснаження природних ресурсів та естетичні зміни.

Забруднення поділяють в залежності від типу, джерела, наслідків та заходів контролю. Забруднення від джерела, яким є викиди промислових підприємств, побутові, транспорту, енергетики й хімічного захисту рослин, надходять в атмосферу, гідросферу й літосферу.

Забруднення може бути природним та антропогенним. Антропогенне забруднення поділяють на біологічне, механічне, фізичне та хімічне. Причиною природного забруднення є вулкани, селі, торнадо, цунамі тощо.

Фізичне забруднення поділяють на теплове, шумове, світлове, електромагнітне та радіоактивне. Теплове забруднення виникає внаслідок підвищення температури через втрати тепла в промисловості, житлових будівлях, теплових мережах і т.д. Причиною шумового забруднення є перевищення інтенсивності шуму при роботі підприємств, рухові транспорту. Світлове забруднення виникає при перевищенні освітленості штучними джерелами світла. Причиною електромагнітного забруднення є дія радіо, телебачення, промислових установок і ліній електропередач. Радіоактивне забруднення виникає внаслідок перевищення природного фону вмісту радіоактивних речовин. Хімічне забруднення відбувається при внесенні яких-небудь хімічних з'єднань або підвищенні концентрації присутніх в природному середовищі хімічних речовин. Багато хімічних речовин можуть взаємодіяти з молекулами речовин, що входять до складу живих організмів, або активно окислювати повітря. При цьому вони стають отруйними по відношенню до живих організмів.

Механічні забруднювачі виникають при будівництві і виробництві будівельних матеріалів. Вони не впливають фізично й хімічно на навколишнє середовище, але спотворюють його естетичний вигляд.

Біологічні й мікробіологічні забрудники виникають внаслідок надходження в навколишнє середовище біологічних відходів або в результаті швидкого розмноження мікроорганізмів на антропогенних субстратах.

Класифікація забрудників за інгредієнтними, параметричними, стаціонарнодеструктивними, біоценотичними й естетичними параметрами наведена на рис. 1.2.



Рисунок 1.2 – Класифікація джерел забруднення довкілля

Прогнози свідчать, що до середини XXI століття вміст в атмосфері діоксиду вуглецю подвоїться внаслідок постійного збільшення об'ємів спалюваних органічних речовин. Це призведе до різкого теплового забруднення атмосферного повітря та посилення парникового ефекту. До цього часу середня температура на планеті може підвищитися на 2...4°C. Перебудова клімату супроводитиметься зміною погодних умов, які навіть важко передбачити. Потепління приведе до швидкого танення льодовиків. Внаслідок цього підніметься рівень Світового океану і багато прибережних територій буде затоплено водою. Екологічним катаклізмом на планеті стане наступ пустель.

Підвищений рівень забруднення повітря впливає на самопочуття людини. Клітинно-епідеміологічні дослідження свідчать про пряму залежність захворювання та смертності від забруднення атмосфери, особливо людей похилого віку та дітей. Найбільш поширені захворювання при проживанні в місцях забруднення атмосфери: бронхіальна астма, виразка шлунка, цироз печінки, параліч ніг та рук. В Японії на 1000 жителів 127 хворіють від забруднення атмосфери. В США за період 1950 по 1965 роки процент смертності від захворювання легенів збільшився в 10 разів. У Вінницькій області в 1995 році на 10 тисяч жителів захворювання: органів дихання - 2400; злякисні новоутворення - 374; органів травлення - 1530.

Оксиди азоту легко поглинаються кров'ю та впливають на органи зору. Оксид вуглецю призводить до головної болі, порушенню сну, втрати апетиту, апатії, безпліддя. Свинець, що є продуктом вихлопних газів автомобільного транспорту, руйнує червоні кров'яні тільця. Особливо шкідливий цементний пил. Навколо заводів з виробництва цементу та залізобетонних конструкцій зникає все живе, у людей розвиваються захворювання шкіри.

Шум шкідливо діє на центральну нервову систему, що відбивається на діяльності внутрішніх органів та кровообігу людини. Під дією шуму людина стомлюється, послаблюється її увага та уповільнюються психічні реакції. Шум інтенсивністю 75...95 дБ зменшує працездатність людини на 25%.

Радіоактивні ізотопи калію, натрію, цезію засвоюються рівномірно по всіх органах та клітинах; стронцій, радій, фосфор - накопичуються в кістках; йод - руйнує щитовидну залозу, порушує інтенсивність обміну речовин в організмі. Ізотопи стронцію-90, урану-235 викликають зміну складу крові, порушують статеву діяльність.

Біологічна дія радону-222 при попаданні його в організм людини зводиться до виникнення онкологічних захворювань та захворювань крові. За дослідженнями американських вчених середній вік людини скорочується на 7 років, якщо вона проживає в повітряному середовищі з підвищеною концентрацією радону-222. У Швеції радоном-222 забруднено повітря 130-ти тисяч житлових будинків, що є однією з причин того, що щорічно від раку легенів помирає 1100 чоловік. За даними Наукового центру радіаційної медицини АМН України величина ймовірних смертельних випадків,

внаслідок дії радіонуклідів радону-222, перевищує щорічно 10 тис. чоловік в нашій державі.

Забруднене повітря шкідливо впливає на рослини. Шкідливі гази в листі рослин порушують обмін речовин в рослині. Інтенсивність пошкодження залежить від виду та фізіологічного стану рослини, складу забруднюючих речовин та їх концентрації. За загальними ознаками пошкодження є приховані, хронічні та гострі. Найбільш шкідливий для рослин сірчистий ангідрид та сполуки фтору. Листя рослин, якщо багато сірчистого ангідриду, чорніють, зморщуються та опадають. При наявності значної кількості фтору рослини жовтіють, а листя опадає.

Рослини накопичують радіонукліди, причому найбільше - це капуста, люцерна та конюшина, а менше - пшениця та інші злакові.

Тварини, що споживають забруднені рослини, накопичують в своєму організмі шкідливі речовини. В Німеччині було виявлено в буряках 70 мг свинцю, а в корів, що їх споживали, кількість свинцю в м'ясі в 20 разів перевищувала допустиму дозу. В Норвегії в 477 озерах за рахунок підвищення кислотності повністю зникла форель. Особливо шкідливі для тварин пестициди, що викликають їх масове захворювання та загибель.

Значних збитків забруднення атмосферного повітря надає будівлям, металевим виробам та спорудам. Висока концентрація в повітрі викидів промисловості, що вміщують з'єднання сірки та азоту, є причиною утворення кислотних дощів. При попаданні кислотних дощів на споруди та будівлі, вони окисляють будівельні матеріали, що приводить їх до руйнування. Мармурові споруди Рима й Афін за останні 10 років більше пошкоджені кислотними дощами, ніж за минулі 2,5 тисячоліття. Фарби, що використовують для захисту будівельних конструкцій, швидко втрачають свої захисні властивості при попаданні на них кислотних дощів. Так, вартість фарби, що витрачена на захист Ейфелевої вежі від корозії, в декілька разів більше вартості будівництва самої вежі, але це не врятувало її конструкції від руйнування.

В результаті забруднення атмосферного повітря зовнішній ремонт будівель в багатьох європейських містах необхідно виконувати в три рази частіше, ніж в сільських. При цьому витрати на очищення й фарбування приміщень в містах на 13...14% більше.

Значна частина відходів людської цивілізації надходить у гідросферу. Щороку в морське середовище з різних джерел потрапляють 6,1 млн. т нафти і нафтопродуктів, понад 6 млн. т твердих відходів, що скидаються в море з кораблів, понад 4 млн. т легких органічних сполук (дихлоретан, фреон та ін.), близько 120 тис. т хлорованих вуглеводнів (ДДТ, альдрин, бензилгексахлорид, поліхлоровані біфеніли та ін.), понад 300 тис. т свинцю, понад 80 тис. т ртуті, понад 10 тис. т кадмію. Крім повітряного перенесення і забруднення внаслідок судноплавства та робіт на шельфі, велика кількість забруднюючих речовин виноситься з річковим стоком, куди скидається близько 600 млрд. т промислових і побутових стоків. На розбав-

лення стічних вод витрачається 40% об'єму світових ресурсів річкового стоку. Об'єм цих стічних вод обчислюється багатьма тисячами кубокілометрів і становить для різних морів від 0,1 до 20% і більше об'єму річного стоку річок, що в них впадають. За деякими даними, промислові стоки додають до природного виносу річок ще подвоєну кількість ртуті, у 12-13 разів більшу кількість свинцю, міді, цинку, у 30 разів більшу кількість сурми. За даними ЮНЕСКО, щороку з водами річок у море потрапляють понад 320 млн. т заліза, 2,3 млн. т свинцю, 6,5 млн. т фосфору. Крім того, річки несуть величезну кількість нафтопродуктів, пестицидів, синтетичних миючих засобів та інших забруднюючих речовин. Спостереження за забрудненням і самоочищенням води деяких річок індустріальних районів показали, що процеси самоочищення забезпечують руйнування й нейтралізацію лише третини забруднення. Решта потрапляє в прибережну зону моря. У 1988 році в СРСР у водні об'єкти було скинуто 152,4 км³ стічних та інших вод.

За глобальними оцінками, внаслідок забруднення за останні 30 років інтенсивність життя в морях і океанах знизилась більш як на 30%, а щорічна продукція нектону (плаваючого життя), в тому числі промислових риб, - не менше як на 20 млн. т. Найбільше і в першу чергу страждають від забруднення дрібні форми організмів. Деякі з токсичних речовин нагромаджуються в морських організмах до небезпечних концентрацій. Наприклад, шведські вчені виявили в балтійській рибі сильну отруту - діоксан. Через це в деяких районах узбереж США, Швеції, Норвегії, Японії та інших країн заборонено ловити рибу.

Для збільшення продуктивності сільськогосподарських рослин у ґрунт щороку вноситься понад 100 млн. т мінеральних добрив. Підраховано, що 25% мешканців Землі отримують рослинну їжу тільки завдяки їх застосуванню. Але мінеральні добрива водночас збільшують забруднення біосфери. Поживні елементи добрив з полів потрапляють у ґрунтові води й поверхневий стік, а потім у водойми. Внаслідок цього відбувається процес евтрофікації водойм. Надходження великої кількості біогенних елементів, азоту, фосфору й калію зумовлює бурхливий розвиток у водоймах фітопланктону, синьо-зелених водоростей. Вода "зацвітає". На окислення водоростей, які відмирають у великій кількості, витрачається багато розчиненого кисню.

Застосування пестицидів досягає 230 кг на гектар. При цьому треба врахувати, що 97-99% інсектицидів (речовин, які знищують комах), фунгіцидів (речовин, які знищують грибки) і 95-96% гербіцидів (речовин, які знищують трави) навіть при додержанні всіх регламентів їх застосування не досягають об'єктів, для яких призначені, а потрапляють у ґрунт, повітря, водойми. Оскільки всі без винятку пестициди належать до отрут широкої дії, вони уражують не тільки шкідників, бур'яни та збудників хвороб, а й усіх інших живих істот. Отрутохімікати пригнічують біологічну активність ґрунтів, знищують потрібних мікроорганізмів, черв'яків, зменшують природну родючість ґрунтів. Ще недавно в заплавах земель нечорнозем-

ної зони було близько 300 земляних черв'яків на 1 м², а тепер їх кількість зменшилась у десятки й сотні разів. Гинуть комахи-запилувачі й тому різко знижується врожайність гречки, баштанних культур та ін.

В результаті спровокованої людиною еволюції вже сьогодні близько 500 видів комах стійкі проти застосовуваних інсектицидів, виникає така стійкість і в рослин, моллюсків, гризунів, грибів.

Наприклад, у США із 10-х до 80-х років загальні втрати врожаю зросли з 31, 4 до 37% , незважаючи на те, що застосування пестицидів у країні зросло в 10 разів.

Отрутохімікати надзвичайно впливають на здоров'я людини. Світова статистика свідчить, що ними щороку отруюється 2 млн. чоловік.

Пестициди спричиняють алергію, позначаються на розвитку плода під час вагітності. Вони становлять також канцерогенну небезпеку. Канцерогенами (речовинами, що стимулюють розвиток злоякісних пухлин) є метоксихлор, араміт. ДДТ спричиняє в лабораторних тварин злоякісні пухлини і лейкоз. Але пестицидами не вичерпується список канцерогенів. Ними є багато харчових барвників й хімічних добавок. Канцерогени виникають від тривалого й повторного нагрівання жирів. Вони містяться в будь-якому диму (зокрема, бензопірен), у тому числі тютюновому. Оскільки на кінці запаленої сигарети температура досягає 600-800°, виникає можливість синтезу канцерогенів поліциклічних ароматичних вуглеводнів з вуглеводів тютюну й паперу.

Практично всі хімічні сполуки виявляють мутагенний вплив (стимулюють генетичні зміни живих організмів – мутації). Тому цілком правильно вимірювати ступінь забрудненості середовища його мутагенною активністю.

Американець Луїс Баттон у книзі “Чисте небо” оригінально написав: “Одне з двох: або люди зроблять так, що буде у повітрі менше диму, або дим зробить так, що на Землі стане менше людей”.

1.4 Управління охороною довкілля та раціональним природокористуванням

Екологічна політика – це сфера діяльності держави, пов'язана з охороною довкілля, раціональним природокористуванням та забезпеченням екологічної безпеки життєдіяльності людини.

Ефективна екологічна політика базується на дієвому законодавстві, впровадження в життя якого забезпечують відповідні структури управління природоохороною діяльністю.

Закон України “Про охорону навколишнього середовища” передбачає систему гарантій екологічної безпеки людини, забезпечує певну впорядкованість в системі управління охороною довкілля й природокористуванням та проведення єдиної науково-технічної політики в цій сфері. Закон містить положення з таких питань:

- екологічних прав та обов'язків громадян, повноважень місцевих органів влади в галузі охорони довкілля;

- повноваження органів управління в галузі охорони довкілля;
- спостереження, прогнозування, обліку та інформування;
- екологічної експертизи;
- стандартизації і нормування;
- контролю і нагляду, регулювання природокористування, економічного механізму забезпечення охорони довкілля;
- заходів щодо забезпечення екологічної безпеки;
- природних територій та об'єктів, що потребують особливої охорони;
- надзвичайних екологічних ситуацій;
- вирішення суперечок;
- відповідальності за порушення законодавства про охорону довкілля;
- міжнародних відносин.

Головними складовими механізму реалізації державної екологічної політики є:

- державна інституційна інфраструктура проведення природоохоронної політики;
- законодавчо-правовий механізм регулювання виробничої діяльності юридичних і фізичних осіб щодо охорони і використання ними природних ресурсів та поводження з відходами виробництва;
- економічний механізм природокористування та природоохоронної діяльності;
- механізм реалізації міжнародних, національних, галузевих та місцевих природоохоронних програм.

Управління охороною довкілля передбачає забезпечення неухильного дотримання норм і вимог, що обмежують шкідливий вплив процесів і продуктів виробництва на навколишнє середовище, та раціонального природокористування, відновлення і відтворення природних ресурсів.

Метою управління охорони довкілля є реалізація чинного законодавства, контроль за додержанням вимог екологічної безпеки, проведення ефективних комплексних заходів щодо охорони природного середовища, раціонального використання природних ресурсів, досягнення узгодженості дій державних і громадських органів у галузі охорони довкілля.

Державна екологічна політика реалізується за трьома рівнями управління: національним, регіональним та місцевим.

До функцій **національного** рівня управління належить вирішення таких питань:

- розроблення методологічного, нормативно-методичного та правового забезпечення;
- розроблення політики регулювання ядерної безпеки;
- проведення державної екологічної експертизи;
- формування економічного механізму природокористування;
- регулювання використання природних ресурсів та запобігання забрудненню довкілля;
- ліцензування екологічно небезпечних видів діяльності;

- державна політика щодо зон надзвичайних екологічних ситуацій;
- встановлення нормативів якісного стану природних ресурсів;
- формування та використання державних фондів охорони довкілля;
- регулювання використання ресурсів державного значення;
- державний контроль за дотриманням природоохоронного законодавства, в тому числі ядерної та радіаційної безпеки;
- впровадження екологічного аудиту;
- проведення єдиної науково-технічної політики щодо охорони, раціонального використання та відновлення природних ресурсів;
- проведення державної політики щодо збереження біорізноманіття;
- забезпечення екологічної безпеки як складової національної безпеки;
- реалізація міжнародних угод і виконання Україною взятих на себе в рамках цих угод зобов'язань та підтримання міждержавних відносин у природоохоронній сфері;
- забезпечення процесу прийняття державних рішень з урахуванням екологічних вимог (організація моніторингу, впровадження інформаційних технологій, ведення обліку забруднень, прогнозування);
- екологічна освіта та екологічне виховання.

До функцій **регіонального** рівня екологічного управління належить вирішення таких питань:

- регулювання використання природних ресурсів місцевого значення;
- визначення нормативів забруднення природного середовища (встановлення нормативів ГДВ, ГДС та розміщення відходів);
- впровадження економічного механізму природокористування;
- проведення моніторингу та обліку об'єктів природокористування і забруднення довкілля;
- проведення державної екологічної експертизи;
- здійснення державного контролю за дотриманням природоохоронного законодавства;
- розроблення програм впровадження природоохоронних заходів, визначення та реалізація інвестиційної політики;
- інформування населення та заінтересованих підприємств, установ і організацій з екологічних питань.

До функцій **місцевого** рівня екологічного управління належить вирішення таких основних питань:

- проведення локального та об'єктного моніторингу;
- здійснення державного контролю за дотриманням природоохоронного законодавства;
- організація розробки місцевих екологічних програм та проєктів.

Основними елементами політики екологічного управління в Україні є:

- система норм якості повітря, вод, ґрунтів;
- процедура видачі дозволів на кожне основне стаціонарне джерело забруднення, яка визначає гранично допустимі рівні надходження за-

брудноуючих речовин у довкілля і приводить їх у відповідність з нормами якості складових навколишнього середовища;

- **екологічний моніторинг та природоохоронні заходи**, спрямовані на забезпечення діяльності підприємств у відповідності з вимогами дозволів, і які передбачають можливість накладання штрафів та стягнень на порушників;

- **система зборів** за використання природних ресурсів та забруднення навколишнього природного середовища (економічний механізм регулювання природокористування);

- **аналіз методом екологічної експертизи** проектів економічного розвитку (за аналогією з оцінюванням впливу на навколишнє середовище, що застосовується у зарубіжній природоохоронній практиці).

Фундаментом екологічного управління є система екологічних **норм якості повітря, води й ґрунтів** і зв'язана з нею система видачі дозволів на **норми граничного впливу** на довкілля. Екологічні норми якості компонентів довкілля використовуються для визначення обмежень для підприємств на викиди і скиди забруднюючих речовин у навколишнє середовище – нормативів гранично допустимих викидів (ГДВ) та скидів (ГДС).

В нашій державі створюється **національна система управління екологічним моніторингом**. Структура технічних, інформаційних і програмно-алгоритмічних компонентів моніторингу стану навколишнього природного середовища (НПС) наведена на рис. 1.3.

Єдина державна система екологічного моніторингу – це автоматизована інформаційна система, яка на сучасному науково-технічному рівні забезпечує збирання, обробку, збереження та аналіз екологічної інформації, комплексне оцінювання і прогнозування стану природного середовища та здоров'я населення, розроблення обґрунтованих рекомендацій для прийняття ефективних природоохоронних, економічних, соціальних та інших рішень на всіх рівнях виконавчої влади та вдосконалення відповідних законодавчих і нормативно правових актів.

Ефективним інструментом запобігання деградації природного середовища в Україні є **державна екологічна експертиза** – вид експертної діяльності, що здійснюється з метою забезпечення контролю за відповідністю проектних рішень вимогам природоохоронного законодавства, діючих нормативно-технічних та інструктивно-методичних документів у галузі охорони довкілля і використання природних ресурсів. Державній екологічній експертизі підлягають проекти схем і розміщення продуктивних сил, розвитку галузей, техніко-економічні обґрунтування проектів та проекти на будівництво і реконструкцію об'єктів, проекти інструктивно-методичних і нормативно-технічних актів, документація на створення нової техніки, технологій, матеріалів і речовин. Висновки державної екологічної експертизи є обов'язковими до виконання.

МОНІТОРИНГ СТАНУ НПС

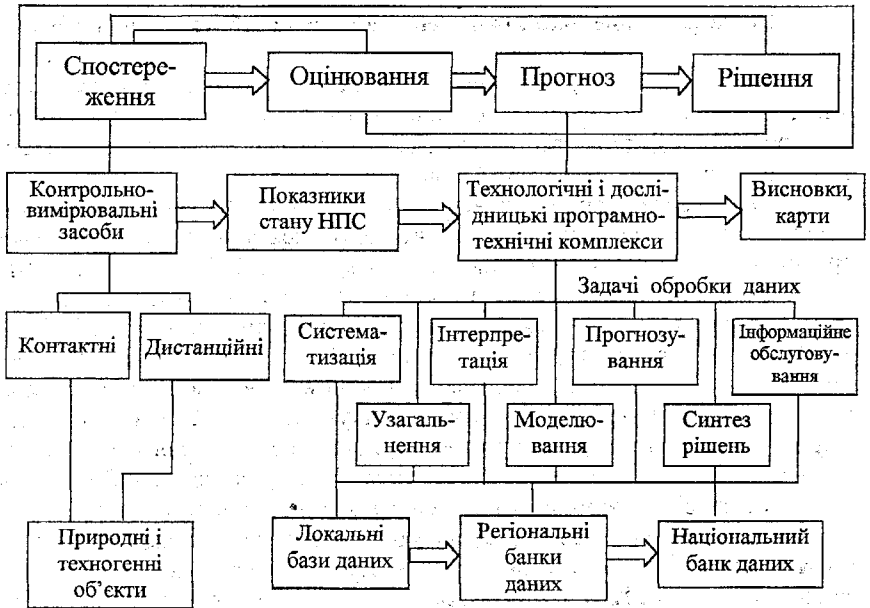


Рисунок 1.3 – Структурна модель національної системи екологічного моніторингу

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ДЛЯ ПЕРЕВІРКИ ЗНАТЬ

1. Дайте означення системи моніторингу, на яких принципах вона ґрунтується та на що спрямована.
2. Наведіть блок-схему системи моніторингу.
3. Які види та функції моніторингу?
4. Охарактеризуйте структурну модель національної системи екологічного моніторингу.
5. Екологічний паспорт та основа для його розробки.
6. Наведіть складові екологічного паспорта підприємства.
7. Класифікація підприємств в залежності від їх впливу на довкілля.
8. Поясніть на конкретних прикладах наслідки забруднення довкілля.
9. Наведіть складові механізму реалізації державної екологічної політики.
10. Яка мета управління охороною довкілля?
11. Охарактеризуйте рівні управління державною екологічною політикою.
12. Розкрийте суть структурної моделі національної системи екологічного моніторингу.

2 ОЦІНЮВАННЯ СТАНУ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРИ

2.1 Характеристика атмосфери та джерел забруднення повітря

Атмосфера - це газоподібна оболонка повітря навколо Землі, що захищає все живе від знищувальної дії космосу. Атмосфера має декілька шарів: тропосферу, стратосферу, мезосферу, іоносферу, протоносферу та магнітосферу, що виконують певні захисні функції.

Тропосфера - приповерхневий шар атмосфери товщиною в середньому 11 км, на який припадає три четверті маси всієї атмосфери. Склад тропосфери: азоту - 78,1%, кисню - 20,9%, аргону - 0,95%, вуглекислого газу - 0,032%, а решта - водяна пара, пил, сажа та інші домішки. Тропосфера нагрівається від Землі. З висотою температура повітря знижується $0,5^{\circ}\text{C}$ на кожні 100 м. У тропосфері дуже інтенсивний горизонтальний і вертикальний рух повітря. Частина тропосфери, в якій відбувається життєва діяльність живих організмів, - біосфера. Закінчується тропосфера перехідним шаром товщиною в один кілометр - тропопаузою. В тропопаузі постійна температура ($-60...-70^{\circ}\text{C}$) та немає вертикальних рухів повітря. Вона захищає біосферу від надмірних витрат тепла в космічний простір.

Стратосфера - шар атмосфери до висоти 40 км, в якому спостерігається підвищений вміст озону. Температура в стратосфері ($-70...90^{\circ}\text{C}$). Вона захищає біосферу від довгохвильового ультрафіолетового випромінювання.

Мезосфера - шар атмосфери до висоти 80 км, в якому переважають найнижчі температури ($-100...130^{\circ}\text{C}$). На висоті 80...100 км у межах мезосфери розташований шар динамічного стиснення космічного пилу та випаровування метеоритів з виділенням води.

Іоносфера - шар атмосфери на висоті від 100 до 1000...1200 км, в якому температура коливається в інтервалі $+1000...1400^{\circ}\text{C}$. В цьому шарі спостерігається висока концентрація електронів і позитивних іонів, які при взаємодії з ультрафіолетовим випромінюванням, захищають від нього і рентгенівського випромінювання біосферу.

Протоносфера - шар атмосфери на висоті від 1000 до 2000 км, що складається з іонізованого водню з незначними домішками гелію, та має температуру $+400...1600^{\circ}\text{C}$. Цей шар захищає біосферу від електропів високих енергій.

Магнітосфера - простір, розташований вище атмосфери в якому формується магнітне поле Землі. З боку Сонця магнітне поле простягається на 64000 км, а з протилежного боку - на віддалі до 1 млн.км. Магнітосфера захищає біосферу від безпосередньої дії потоку високотемпературної плазми, в складі якої є частинки дуже високих енергій і сильні магнітні поля.

В результаті попадання в атмосферу любых твердих та газоподібних речовин або викидів енергії (теплю, звук, радіоактивність) в кількості, що має шкідливу дію на людський чи тваринний організм, рослини та будіве-

льні конструкції, відбувається її забруднення. В зв'язку з цим суттєве значення має охорона повітряного басейну, тобто система сукупності способів та дій, що направлені на досягнення поставленої мети зменшення забруднення повітря.

Розвиток промислового виробництва, транспорту, сільського господарства й побуту спричинився до суттєвого забруднення атмосферного повітря, зміни його складу й захисних властивостей. Основна кількість шкідливих речовин (75%) попадає в повітря при спалюванні органічних енергоносіїв. У містах до 60% забруднення дає автотранспорт.

Структура надходження шкідливих речовин в атмосферне повітря від різних галузей господарства така: теплові електростанції – 24%; нафтодобування та нафтохімія – 16%; автомобільний транспорт – 13%; кольорова металургія – 11%; промисловість будматеріалів – 8%; хімічна промисловість – 1%.

У світі щорічно спалюється в середньому до 10 млрд. т палива. При цьому витрачається 20 млрд. т кисню та утворюється 22 млрд. т вуглекислого газу, 150 млн. т діоксиду сірки, 200...700 млн. т пилу й диму та багато інших шкідливих речовин.

Матеріальний баланс теплової електростанції потужністю 2400 МВт, що працює на вугіллі, такий. При спалюванні за годину 1060 т вугілля необхідно 820 т кисню. 3 котлоагрегатів викидають 34,5 т/год шлаку, електрофільтри вловлюють 193,5 т/год золи. Через димові труби при відсутності дієвих очисних споруд в атмосферу викидають 10 млн. м³/год газів, що містять: 2350 т/год діоксиду вуглецю, 251 т/год води; 34 т/год діоксиду сірки, 9,34 т/год оксидів азоту та 2 т/год золи.

У промислових районах за добу випадає понад 1 т пилу на 1 км². В містах забруднення повітря в 15 разів вище, ніж в сільській місцевості. Більш як 300 млн. автомобілів щодня викидають у повітря 800 тис. т оксиду вуглецю та 1 тис. т свинцю. Щорічний викид в атмосферу до 150 млн. т діоксиду сірки при сполученні з водою є причиною кислотних дощів, що негативно впливають на біосферу. Постійне збільшення викидів в атмосферу діоксиду вуглецю приведе до різкого посилення парникового ефекту, тобто підвищення середньої температури на планеті.

Ступінь забруднення повітря викидами шкідливих речовин біля земної поверхні залежить від кількості речовин та їх параметрів. Суттєво впливає на ступінь забруднення повітря також характер молекулярної й турбулентної дифузії, інтенсивність яких визначається вектором швидкості вітру й вертикальним температурним градієнтом.

Врахування вектора швидкості вітру дозволяє раціонально вирішувати питання розташування промислових підприємств на території населених пунктів. Промислову зону необхідно розміщувати з врахуванням середньорічної й сезонної рози вітрів, а також швидкості вітру окремих румбів. При викидах з низьких труб найбільше забруднення спостерігається при незначних швидкостях вітру в межах 0...1 м/с. Максимальна кон-

центрація забруднення при викидах з високих труб буде коли швидкість вітру досягає 3...6 м/с.

Температурний градієнт - параметр, що характеризує зміну температури по вертикалі. Його значення при звичайних умовах становлять 0,5...0,6°C на 100 м піднімання вверх.

Температурна інверсія - це збільшення температури з висотою. При інверсіях турбулентний обмін послаблюється, що приводить до погіршення умов розсіювання шкідливих викидів в атмосфері.

Ступінь зменшення концентрації викидів в атмосферному повітрі знаходиться в прямій залежності від відстані, на яку переміщується шкідлива речовина в напрямку вітру. Розповсюдження викидів відбувається в межах сектора, що обмежений кутом розкриття факела $\alpha = 10...20^\circ$.

Природне та антропогенне забруднення атмосфери ділиться на теплове, звукове (шум), біологічне, хімічне, радіоактивне та фізичне (пил).

За агрегатним станом забруднювачі атмосферного повітря бувають тверді, рідкі та газоподібні.

Джерела забруднення атмосфери поділяють на джерела виділення шкідливих речовин та джерела впливів. Джерелами виділення є технологічні пристрої (апарати, котли, установки), в процесі експлуатації яких в атмосферне повітря виділяються шкідливі речовини. До джерел викидів належить технологічне обладнання (труби, вентиляційні шахти, аераційні ліхтарі), за допомогою якого шкідливі речовини викидаються в атмосферне повітря.

Антропогенні джерела забруднення атмосфери класифікують за такими ознаками:

- потужність (потужні, великі, малі);
- висота (високі, середні, низькі);
- температура (нагріті, холодні);
- призначення (технологічні, вентиляційні);
- режим роботи (безперервні, періодичні, залпові, миттєві);
- геометрична форма (точкові, площинні, лінійні);
- ступінь організованості (організовані, неорганізовані);
- дальність розповсюдження (внутрішньомайданчикові, позамайданчикові);
- ступінь рухомості (стаціонарні, пересувні).

До потужних джерел забруднення відносять металургійну та хімічну промисловість, теплоелектроцентралі, будівельну індустрію. Малими за потужністю джерелами забруднення є районні опалювальні котельні, що працюють на твердому й рідкому паливі, та місцева промисловість.

Високими джерелами забруднення вважаються джерела висотою вище 50 м, а низькими – висотою до 50 м.

До нагрітих джерел відносяться викиди з температурою вищою за 50°C, а до холодних – ті, що мають температуру нижче за 50°C.

Найбільш поширені шкідливі викиди в населених пунктах: оксиди вуглецю, оксиди азоту, діоксид сірки та пил різного походження. Значна частка шкідливих викидів в атмосферу формується при спалюванні твердого й рідкого палива котельнями та теплоелектроцентралями. Суттєва частка у забруднюванні атмосферного басейну населених пунктів належить автотранспорту. Крім перерахованих шкідливих інгредієнтів автомобілі забруднюють населені пункти свинцем, хлором, бромом та сажою.

Класифікація атмосферних забруднень за розмірами наведена в табл.2.1.

Таблиця 2.1 - Класифікація атмосферних забруднень за розмірами

Назва атмосферних забруднень	Розміри
Зола	Великі частинки розміром більше 76 мкм
Пил	Частинки розміром менше 76 мкм
Дим	Тверді частинки менше 1 мкм
Туман	Рідкі частинки менше 10 мкм
Імла	Досить густі тумани, що сильно погіршують видимість
Кіптява	Летюча зола, продукти неповного згорання або обидва види цих забруднень
Сажа	Злиплі частинки незгорівшого вугілля, які утворюються при його неповному згоранні
Аерозолі	Будь-які суспензії в повітрі, що відносно стабільні
Смог	Назва будь-якого небажаного забруднення атмосфери (густий туман з пилом та шкідливим газом)

Радіоактивне забруднення атмосфери відбувається за рахунок природної радіоактивності, роботи атомних установок та ядерних вибухів. Радіонукліди, що попадають в атмосферу, концентруються в основному в аерозолях і можуть знаходитись в них від 3 до 9 років, а в нижніх шарах атмосфери - до 3 місяців. В залежності від напрямку й сили вітру аерозолі розносяться на різні відстані і внаслідок самоочищення атмосфери поступово осідають на землю.

При відсутності ядерних катастроф при експлуатації атомних електростанцій найбільшу дозу опромінення на території нашої країни вносять природні джерела.

Структура складових опромінення радіонуклідами природних джерел та їх вага на Україні така:

- природний гамма-фон - 3,1%;

- уран-234, уран-238, радій-226; радон-222 у воді - 3,5%;
- внутрішнє бета-опромінення - 4,1%;
- радіоактивність будівельних матеріалів - 5,3%;
- космічне опромінення - 5,9%;
- радон-222 у повітрі - 78,1%.

Таким чином, основним джерелом опромінювання населення нашої країни є радоновий газ, що обумовлено наявністю кристалічного щита насиченого радіоактивними речовинами.

Шумове забруднення за минулі 15...20 років зросло вдвічі. Шум - це безладний звук з періодичними коливаннями, що характеризується великою кількістю простих тонів різної частоти й сили. Тобто, шум - це сторонні звуки, що заважають працювати та відпочивати.

За одиницю вимірювання сили звуку прийнято децибел (дБ) - мінімальну різницю в силі звуку, яку може розрізнати людське вухо. Допустима границя звуків 80 дБ, критична - 150 дБ. Шум тихої розмови - 40 дБ, вантажного автомобіля - 80 дБ, реактивного літака, що злітає, - 140 дБ.

2.2 Організація та проведення спостережень за забрудненням атмосфери

2.2.1 Мета і види обстеження стану атмосфери

Обстеження стану забруднення атмосферного повітря виконують з метою виявлення кількості шкідливих інгредієнтів; встановлення їх впливу на довкілля та здоров'я людей; розробки організаційно-технічних заходів з охорони навколишнього середовища.

Обстеження виконують трьох видів: оперативне, епізодичне та комплексне.

Оперативне обстеження виконується за спеціальною програмою для визначення різкого погіршення якості повітря.

Епізодичне обстеження виконується для приблизного оцінювання стану забруднення повітря та вибору місця для стаціонарного поста.

Комплексні обстеження організуються для кількісного оцінювання стану атмосфери, детального вивчення особливостей і причин високого рівня концентрації забруднюючих речовин, для визначення метеорологічних особливостей розповсюдження домішок в атмосфері, впливу на здоров'я людей і довкілля та розробки заходів для їх усунення.

Для врахування можливих змін погоди та забезпечення достатньої надійності висновків спостереження за станом забруднення виконують в різні періоди протягом двох-трьох років. Основні етапи комплексного обстеження:

- попереднє ознайомлення з об'єктом;
- проведення спеціальних експериментальних робіт;
- виконання метеорологічних спостережень;
- обстеження повітряного басейну промислового району;

- обробка та аналіз матеріалів.

При попередньому обстеженні з об'єктом виконують такі заходи:

- вивчення загальної фізико-географічної характеристики району; розміщення основних джерел забруднення житлових і промислових районів, водних об'єктів;

- оцінювання загального рівня забруднення за існуючими матеріалами;

- ознайомлення з основними принципами технології виробництва, а також з кількісною характеристикою викидів шкідливих речовин за всіма інгредієнтами, умовами переносу й розсіювання викидів та їх стабільністю протягом доби;

- з'ясування з іншими організаціями питань про спільне виконання обстежень.

За результатами попередніх обстежень складають програму комплексних експериментальних робіт обстеження стану атмосфери, що включає:

- визначення хімічного складу атмосферного повітря за даними стаціонарних й маршрутних постів та підфакельних спостережень;

- визначення параметрів викидів в атмосферу;

- оцінювання рівня забруднення пересувними джерелами викидів;

- спостереження за метеорологічним режимом;

- визначення хімічного складу опадів;

- медико-біологічне обстеження території, а саме: стан здоров'я та показники захворювання людей, дія забруднюючих речовин на рослини, тварини та ґрунти.

2.2.2 Організація спостережень за забрудненням атмосферного повітря

Для оцінювання рівня забруднення атмосферного повітря створюється мережа постів на території населених пунктів та великих промислових об'єктів. Пост - це місце в населеному пункті, на якому розміщено автомобіль або павільйон з відповідним обладнанням для реєстрації інгредієнтів, що забруднюють повітря. Пости спостережень є трьох категорій: стаціонарні, маршрутні та пересувні (підфакельні).

Стаціонарний пост забезпечує неперервну реєстрацію забруднюючих речовин в атмосферному повітрі.

Маршрутний пост призначений для регулярного відбирання проб, коли немає можливості встановити стаціонарний, або необхідно детально вивчити характер забруднення якого-небудь району міста.

Пересувний пост влаштовують з метою вивчення характеру розповсюдження шкідливих викидів від окремих джерел в залежності від метеорологічних умов та оцінити вплив цих джерел на забруднення атмосферного повітря.

Точність аналізу відібраної проби суттєво залежить від місця розміщення поста спостереження. Вибору місця розміщення постів передують проведення попередніх маршрутних спостережень за рівнем забруднення

повітря в різних районах населеного пункту. Для отримання повної та якісної інформації про забруднення атмосферного повітря стаціонарні пости доцільно розміщувати в кварталах житлової забудови та в районах промислових підприємств, де найбільші викиди шкідливих речовин. Обов'язково розміщують пости на територіях, що розміщені близько до дорожніх магістралей з інтенсивним рухом транспорту. Для порівняльної оцінки один із стаціонарних постів розміщують в зоні відносно чистого повітря.

Місцезаповнення стаціонарних постів спостереження за забрудненням атмосфери вибирається спільно з гідрометеорологічною та санітарно-епідеміологічною службою й узгоджується з головним архітектором міста. При виборі місця розташування постів особливу увагу звертають на наявність джерел викидів та їх потужність, частоту викидів та характер шкідливих речовин, розміщення магістралей з інтенсивним рухом транспорту. Число стаціонарних постів залежить від кількості населення, площі населеного пункту, рельєфу місцевості, характеру та рівня розвитку промисловості (табл. 2.2).

Таблиця 2.2 - Рекомендації щодо кількості постів

Чисельність населення, тис.чол.	до 50	50 - 100	100 - 200	200 - 500	500-1000	Більше 1000
Кількість постів	1	2	2...3	3...5	5...10	10...20

На стаціонарних постах установлені чотири програми спостереження за рівнем забруднення повітря: повна, неповна, скорочена та добова. Спостереження за повною програмою виконують щоденно чотири рази на добу о 1-ій, 7-ій, 13-ій та 19-ій годині. Повна програма виконується для отримання оперативної інформації про рівні забруднення атмосферного повітря та даних про середньодобові концентрації основних забруднюючих речовин. Спостереження за неповною програмою виконують щоденно три рази на добу - о 7-ій, 13-ій та 19-ій годині. Неповна програма виконується для отримання оперативної інформації про разові концентрації забруднюючих речовин. Спостереження за скороченою програмою за основними забруднюючими речовинами виконують щоденно два рази на добу - о 7-ій та 13-ій годині в районах з низьким рівнем забруднення повітря. Добові спостереження виконують для отримання інформації про середньодобові концентрації інгредієнтів при неперервному відбиранні проб протягом доби.

Спостереження за рівнем забруднення атмосфери виконують у всі пори року незалежно від метеорологічних умов: а саме напрям і швидкість вітру; зовнішня температура повітря; відносна вологість; стап погоди та підстиляючої поверхні. За несприятливих метеорологічних умов, тобто туман чи тривалі інверсії температури, спостереження за якістю повітря виконують кожні три години.

Маршрутні спостереження виконують в випадках, коли стаціонарних постів в місті недостатньо або необхідно більш детально вивчити будь-який район міста. Маршрутним постам присвоюється порядковий номер і їх місцезнаходження наноситься на план міста. Спостереження на маршрутних постах виконують за допомогою пересувної лабораторії, яка за зміну відбирає 8-10 проб повітря двічі в 4-5 пунктах. Оскільки відбір проб виконують неодноразово, то порядок об'їзду маршрутів змінюється так, щоб проби на кожному маршруті відбиралися в різні години доби.

Підфакельні спостереження проводять з метою отримання даних про розповсюдження шкідливих речовин від окремих джерел викидів в залежності від метеорологічних умов та оцінки впливу цих джерел на забруднення атмосфери. Спостереження під факелом виконують за типовими інгредієнтами для даних підприємств. Відбирання проб повітря виконують послідовно за напрямком вітру на різних відстанях від джерела викидів: 0,2...0,5; 1...2; 3; 4; 6; 8; 10; 15 та 20 км. Для контролю вимірювань відбирають проби повітря також з підвітряної сторони на деякій відстані від джерела. Найбільш важливим є вимірювання на відстані, що дорівнює 10...40 висотам труб. В цій зоні, де очікується максимальна концентрація домішок, відбирають 50...60 проб повітря для кожного інгредієнта. Напрямок факела визначають візуально за характером розповсюдження диму або запаху. Відбирання проб виконують на висоті 1,5 м протягом 20...30 хвилин з інтервалом 10 хвилин між відборами.

При спорудженні промислових об'єктів програмою оцінювання рівня забруднення повітря передбачаються спостереження за вмістом в атмосфері корозійно-активних домішок. Особливо це має суттєве значення при будівництві на засоленних ґрунтах та поблизу водних поверхонь. Причиною корозійної активності є наявність в повітрі хлоридів та діоксиду сірки. Спостереження за вмістом в атмосфері корозійно-активних домішок проводять за допомогою постів. Проби повітря відбирають один раз на добу на висоті 1,5; 10; 30; 40 м від землі протягом 90 хвилин. За даними аналізу проб повітря визначають інтенсивність випадання хлоридів на поверхню землі за формулою:

$$U = 8,64 \cdot 10^4 C_x (0,048 v + \omega), \text{ мг/м}^2 \text{ добу,} \quad (2.1)$$

де C_x - середньомісячна концентрація хлоридів у повітрі, мг/м^3 ;

v - середньомісячна швидкість вітру на рівні флюгера, м/с ;

ω - швидкість гравітаційного випадання хлоридів, м/с .

В залежності від концентрації хлоридів і діоксиду сірки атмосферу за корозійною активністю класифікують на умовно чисту, промислову, морську та приморсько-промислову.

Дослідження рівня забруднення атмосферного повітря викидами автотранспорту виконується як в комплексі з вивченням забруднення, що обумовлено викидами промислових джерел, так і окремо. Оцінювання рівня забруднення атмосферного повітря на автомагістралях і прилеглий до

них житловій забудові ґрунтується на натурних спостереженнях за концентрацією в викидних газах автотранспорту таких компонентів: оксиду вуглецю, вуглеводних, оксидів азоту, акролеїну, формальдегіду, з'єднань свинцю та продуктів фотохімічних перетворень.

Програма дослідження характеру забруднення атмосферного повітря автотранспортом передбачає:

- визначення максимальної концентрації викидів, періодів їх виникнення при різних метеорологічних умовах й інтенсивності руху автотранспорту;

- визначення границь зон і характеру розподілу різної шкідливості в залежності від віддалення від автомагістралей;

- визначення особливостей розповсюдження шкідливих викидів в житлових кварталах і зелених зонах, що прилягають до автомагістралей.

Пункти спостереження вибирають безпосередньо на міських вулицях і районах з інтенсивним рухом транспорту, а саме:

- на ділянках вулиць до і після світлофору, а також на інших ділянках, де автомобілі при гальмуванні викидають найбільшу кількість шкідливих домішок;

- в місцях накопичення шкідливих домішок, де вони погано розсіюються внаслідок архітектурно-планувальних особливостей;

- в зонах перетину двох та більше вулиць з інтенсивним рухом транспорту.

Точки спостережень розміщують на тротуарі або середині проїзної частини дороги. На вулицях, що перетинають основну магістраль, пункти спостереження розміщують з краю тротуару і на відстані, яка дорівнює 0,5 ширини магістралі та перевищує її в 2 і 8 разів.

Інтенсивність руху на ділянках дорожніх магістралей визначають за категоріями автомобільного транспорту: легкові та вантажні автомобілі, автобуси, автомобілі та автобуси з дизельними та бензиновими двигунами; мотоцикли. Інтенсивність руху визначають щоденно протягом 2-3 тижнів в період з 5-6 години ранку до 21-23 години вечора, а на транзитних магістралях протягом доби. Середня швидкість руху транспорту визначається за показаннями спідометра автомобіля, що рухається в потоці транспортних засобів по даній автомагістралі на ділянці довжиною 0,5...1,0 км. За результатами натурних досліджень обчислюють середнє значення інтенсивності руху автотранспорту протягом доби в кожній точці вимірювань.

При обстеженні стану забруднення атмосфери викидами автотранспорту виконують також метеорологічні спостереження в вибраних пунктах та на метеостанції, яка розміщена за містом. При метеорологічних спостереженнях визначають різницю температури, вологість повітря й швидкість вітру на рівнях 0,5 й 1,5 м від поверхні землі.

Для визначення впливу метеосумов на характер забруднення атмосфери необхідні дані про швидкість та напрям вітру, температуру й вологість повітря, число днів з атмосферними явищами (туман, імла, хурто-

вини, опади), кількість опадів та хмарність, тривалість сонячного сяйва. Установлення зв'язків виконують на основі відповідних середніх даних за місяць або за погодними умовами та протягом доби при достатній статистичній забезпеченості.

Програмою метеорологічних спостережень передбачаються також спеціальні актинометричні вимірювання за прямою й розсіяною радіацією. Ці дані необхідні для кількісної характеристики аерозольного стану атмосфери. Градієнтні і теплобалансові спостереження виконують для визначення величин вертикального коефіцієнта турбулентності на висоті один метр, які використовують при розрахунках розсіювання домішок в атмосфері. Температуру й вологість повітря вимірюють аспіраційними психрометрами, які встановлені на висоті 0,5 та 1,5 м від землі. Параметри вітру заміряють за допомогою дистанційних приладів М-47, М-49, М-63, а також ручних анеометрів МС-13. Актинометричні спостереження виконують за допомогою актинометра М-3.

Для отримання даних про детальний розподіл на території міста температури й вологості повітря, швидкості й напрямку вітру організують мікрометеорологічні зйомки. Їх виконують кожний сезон, як правило, при стійкому стані погоди, добовими серіями (по три на сезон). Пункти на території міста розміщують по можливості рівномірно, так щоб один пункт був на площі 5...15 км². Для визначення температури, швидкості й напрямку вітру до висоти 1,5...2,0 км виконують вертикальне зондування атмосфери з використанням радіозондів, літаків тощо.

Як чутливий індикатор для вивчення перенесення домішок від джерела забруднення використовують спостереження за опадами. Аналіз даних про хімічний склад опадів дозволяє визначити зону впливу міста або промислового району на сусідню територію, а також місця з фоновим рівнем забруднення.

2.2.3 Обробка та аналіз матеріалів спостережень за забрудненням атмосфери

Як характеристика рівня забруднення за кожним інгредієнтом є середнє значення концентрації C_{CP} за вибраний період часу та його середнє квадратичне відхилення σ_C , максимальнє значення концентрації C_M за вибраний період часу, а також частота виникнення в період, який розглядається, концентрацій визначених границь, яку прийнято описувати повторністю вище гранично допустимої концентрації P . За основний період, за який визначають ці характеристики, приймають місячний інтервал часу. Крім місячного інтервалу, характеристики забруднення можуть визначатись за добу або декаду, а також при різних синоптичних ситуаціях: ясній або похмурій погоді, при сильному або слабкому вітрі, після випадання опадів тощо.

Обробка даних, тобто отримання значень C_{CP} , σ_C , C_M , P , виконується в окремих пунктах спостережень.

Якщо необхідні результати для окремого району, то розрахунки характеристик виконують складанням даних спостереження на всіх постах даного району. Результати аналізу матеріалів про забруднення атмосферного повітря представляють у вигляді таблиць, графіків та картосхем:

- порівняльної характеристики значень C_{CP} , σ_C , C_M , P за окремими інгредієнтами, пунктах і для всього району за окремі місяці року й за всіма спостереженнями;

- порівняльної характеристики значень C_{CP} і C_M за погодними умовами в тому числі за окремими метеорологічними факторами й синоптичними ситуаціями;

- графіки зміни характеристик забруднення протягом доби й місяця;

- графіки зв'язку характеристик забруднення C_{CP} й C_M та метеорологічних параметрів, особливості швидкості й напрямку вітру, опадів, приземних інверсій, туманів;

- картосхеми розподілу значень C_{CP} й C_M на територію району в окремі періоди спостереження, що характерні за умовами погоди та викидами;

- таблиці характеристик забруднення на окремих пунктах при різних викидах.

Доцільно представляти на картосхемах розподіл максимальних значень концентрацій від викидів різними джерелами при напрямі вітру на житлові райони міста і при різних метеорологічних умовах.

2.3 Методи й технічні засоби відбору проб повітря

2.3.1 Методи вимірювання шкідливих речовин в атмосферному повітрі

У зв'язку із зростанням антропогенного впливу на атмосферу, як складового елемента біосфери, виникла проблема нормування та контролювання цього впливу з метою збереження високої якості атмосфери та спроможності її відтворення до природного стану.

Критерії високої якості навколишнього середовища:

- середовище дає можливості для сталого існування й розвитку історично виниклої, створеної або перетвореної ланкою екосистеми;

- відсутні інші й не загрожують в майбутньому постійно або тимчасово несприятливі наслідки для популяції, що перебуває в даній екосистемі.

Концентрація більшості атмосферних забруднювачів дуже низька, тому точне визначення її в повітрі є складною задачею. Розповсюдженими забруднювачами атмосферного повітря є оксид вуглецю, діоксид сірки, оксид й діоксид азоту та пил. За цими компонентами ведуть регулярні спостереження на стаціонарних, маршрутних й підфакельних постах.

Метод контролю запиленості повітря вибирають в залежності від стану пилу. Після осідання пилу запиленість повітря контролюють мето-

дами: ваговим, п'єзоелектричним, радіоізотопним, зарядно-контактним, оптичним та уловлюванням водою. При знаходженні пилю в підвищеному стані запиленість повітря контролюють індукційним, акустичним та оптичним методами.

Концентрацію шкідливих речовин в атмосферному повітрі визначають методами хімічного аналізу. Найбільш поширені методи мікроколориметрії, суть яких полягає в аспіраційному відбиранні проб атмосферного повітря, наступному аналізі відібраних проб й обробці даних. Хімічні методи реалізуються апаратурою для відбору проб повітря й апаратурою для лабораторного аналізу цих проб.

Недоліки хімічних методів: значні витрати часу на відбирання проб та їх аналіз, що приводить до запізнення в отриманні необхідної інформації про забруднення атмосферного повітря. Вони також не дозволяють виконувати безперервний аналіз забруднення.

Автоматичні газоаналізатори дозволяють вести безперервний контроль забруднення атмосфери за окремими інгредієнтами. Принцип роботи газоаналізаторів полягає в використанні таких фізико-механічних методів дії на визначену речовину в потоці повітря через реакційну камеру, в результаті яких відбуваються специфічні реакції з виділенням різних видів енергії. Енергія перетворюється в електричний сигнал, що пропорційний кількості речовини, яка вимірюється.

При хімічному методі кількісний аналіз забруднюючих речовин виконують після їх концентрації, яка відбувається шляхом протягування повітря, що аналізується, через поглинальні пристрої або фільтри.

Структурна схема пристрою для відбирання проб повітря наведена на рис. 2.1.

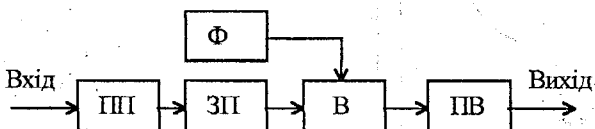


Рисунок 2.1 - Структурна схема пристрою для відбирання проб

Пристрій для відбирання проб повітря включає: поглинальний прилад (ПП), який заповнений поглинальним розчином; захисний патрон (ЗП), щоб не попадали бризки з ПП; фільтр (Ф); витратомір (В); побудник витрат (ПВ).

2.3.2 Поглинальне обладнання

Кількісний аналіз шкідливих домішок в атмосферному повітрі проводиться після концентрування шляхом пропускання певного об'єму газової суміші через рідкий або твердий поглинач, або аерозольний фільтр. В якості поглинального обладнання використовують рідинні поглинальні прилади, сорбційні трубки та фільтри.

Рідинні прилади. Речовини в газо- й пароподібному стані вловлюються рідинними поглинальними середовищами, до яких відносяться дистильована вода, органічні розчини або спеціальні поглинальні розчини. Повинно поглинатись не менше 95% речовини, вміст якої визначається.

Найбільше поширені U-подібний прилад з пористою скляною пластиною (рис.2.2.а) та прилад Ріхтера (рис. 2.2.б), що виготовляються з інертного матеріалу по відношенню до речовин, які досліджуються.

U-подібний поглинальний прилад (див.рис.2.2.а) виготовлено з скляних трубок більшого 1 та меншого 2 діаметрів, на яких є мітка 3. В трубці більшого діаметра 1 розміщено фільтр 4, який виготовлений у вигляді пластини зі скла з різними за розмірами порами. Повітря за допомогою пористої пластини 4 розбивається на безліч мілких бульбашок, що забезпечує більшу поверхню дотику з поглинальним середовищем. Відбирання проб U-подібним поглинальним приладом відбувається при об'ємі протягування повітря до $0,18 \text{ м}^3/\text{с}$.

Поглиноальний прилад Ріхтера (див. рис. 2.2.б) виконаний як скляна посудина 1, в середині якої розміщена скляна циліндрична трубка з розширювачем 2. Відбирання проб приладом Ріхтера виконують при об'ємі протягування повітря до $0,6 \text{ м}^3/\text{с}$.

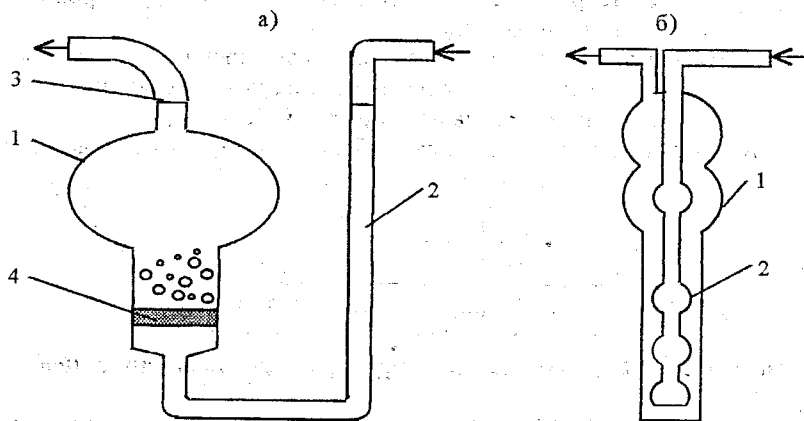


Рисунок 2.2 - Рідинні прилади: а) U - подібний; б) прилад Ріхтера

Недоліками рідинних приладів є невелика швидкість відбирання проб повітря, замерзання розчину та крихкість приладу.

Сорбційні трубки. Найбільш ефективним поглинальним пристроєм концентрації шкідливих речовин є сорбційні трубки (рис. 2.3), що виготовляються із скла. Довжина сорбційної трубки 170 мм та діаметр 8...10 мм.

Сорбційні трубки включають перфоровані скляні пластини 1 та скляні гранули-носії 2, що покриті невисихаючими плівками спеціального розчину - сорбенту ($d = 1...2 \text{ мм}$). Об'єм прокачування повітря $1,2 \text{ м}^3/\text{с}$.

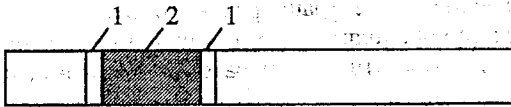


Рисунок 2.3 - Сорбційна трубка

Після відбору проб повітря, поглинальні прилади та сорбційні трубки герметично закривають. Оберегають їх від дії світла на проби SO_2 , H_2S , CS . Зберігають проби при температурі не вищій за 25°C , а проби на SO_2 і H_2S розміщують в холодильнику.

2.3.3 Фільтри й фільтроутримувачі

Рідинні поглиначі й сорбційні трубки не придатні для відбирання проб аерозолів. Для уловлення токсичних речовин у вигляді високодисперсних аерозолей, що знаходяться в диму, тумані й пилу, використовують фільтруючі матеріали: щільні паперові, мембранні скловолокнисті фільтри, ультратонкі волокнисті полімерні (тканини Петрянова) (рис. 2.4.а). Ці тканини дозволяють досягнути швидкості аспірації $6\text{...}12\text{ м}^3/\text{с}$.

Для відбору проб повітря використовують фільтроутримувачі, в якому розміщують фільтр (рис. 2.4.б).

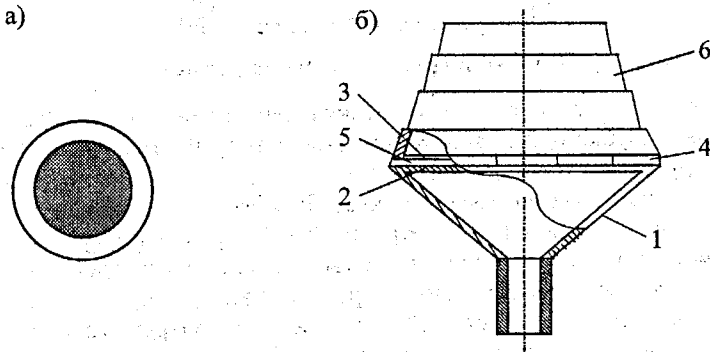


Рисунок 2.4 - Фільтр (а) та фільтроутримувач (б)

Фільтроутримувач (див. рис. 2.4.б) має корпус 1, що виконаний із фторопласту, алюмінію чи пластмаси та має конусоподібну форму. На корпусі 1 закріплено сітку 2, прижимне кільце 3 та накидну гайку 4. На сітці 2 розміщують фільтр 5. На фільтроутримувачі з фільтром 5 розміщують конусну насадку 6, що має чотири конуси з різними діаметрами.

Діаметр ($d = 25; 35; 45; 55$) насадки залежить від швидкості аспірації й вітру. Чим більша швидкість вітру, тим менший діаметр насадки. Кількість поглинутих домішок визначають як різницю маси фільтра до та після протягування повітря, що аналізується.

2.3.4 Витратоміри повітря

Точність визначення концентрації речовини залежить від похибки обліку об'єму повітря, що проходить через поглинальне приладдя. Достатню точність дозволяють отримати такі витратоміри як реометри, ротаметри та газові лічильники.

Реометри. Конструктивна схема реометра наведена на рис. 2.5. Вона включає U - подібну манометричну трубку 1, верхні частини якої з'єднані між собою горизонтальною манометричною трубкою 2. Всередині горизонтальної трубки 2 вмонтовано діафрагму з каліброваним отвором 3. Рівень рідини в U - подібній трубці 1 контролюють шкалою рівня рідини 4. На вході горизонтальної манометричної трубки 2 приєднують поглинальний прилад, а на виході - побудник витрати.

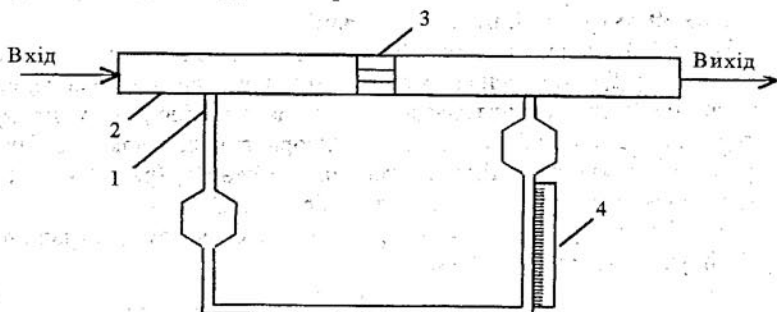


Рисунок 2.5 - Конструктивна схема реометра

При відсутності повітряного потоку рівень рідини в обох колінах манометричної трубки однаковий. Коли потік повітря протікає через горизонтальну трубку 2, то перед діафрагмою 3 утворюється зона підвищеного тиску, а за нею - зона пониженого тиску. В зв'язку з цим рівень рідини в лівому коліні U - подібної манометричної трубки 1 понизиться, а в правому підніметься. Різниця рівнів визначається за допомогою шкали 4 реометра, яка градується за допомогою контрольного витратоміра.

Ротаметри. Використовують для визначення витрати газу за умови індивідуального градування на даний газ. Принципова схема ротаметра наведена на рис. 2.6 і включає конусну трубку 1, в якій розміщено поплавков 2 та шкалу 3.

Принцип дії ротаметра ґрунтується на сприйманні поплавком 2 динамічного тиску газу, що проходить знизу вгору по конусній трубці 1. При підйманні поплавка 2 прохідна щілина між найменшим діаметром поплавка й внутрішнім діаметром трубки 1 збільшується. В результаті перепад тиску на рівні поплавка 2 зменшується. Коли перепад тиску стає рівним масі поплавка, що випадає на одиницю поперечного перерізу, настає рівновага. При цьому кожному положенню поплавка 2 відповідає значення витрати газу, що визначають за шкалою 3.

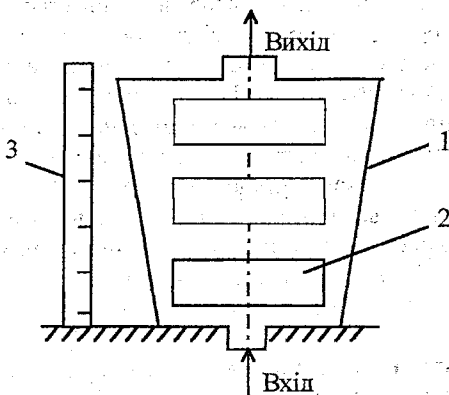


Рисунок 2.6 - Принципова схема ротаметра

Лічильники газу. Лічильник газовий барабанний ГСБ-400 використовується для вимірювання незначних об'ємів неагресивних газів та для градуювання ротаметрів й електроаспіраторів. Границі вимірювання витрати повітря 0,02...0,6 м³/год; а похибка $\pm 1\%$.

Принципова схема газового барабанного лічильника, яка наведена на рис. 2.7, включає корпус, ротор та відліковий пристрій. Корпус 1 виконано в вигляді циліндра з передньою та задньою кришками. Ротор 2 має вигляд барабана, який поділений похилими лопастями 3 на чотири камери А, Б, В та Г. Циліндр корпусу 1 заповнено запірною рідиною 4, в якості якої використовується чиста вода, контроль за рівнем якої виконує водомірний пристрій. Між стінкою корпусу 1 та дном барабана ротора 2 розміщена газорозподільча камера 5. До корпусу приєднано вхідний штуцер 6 та вихідний штуцер 7.

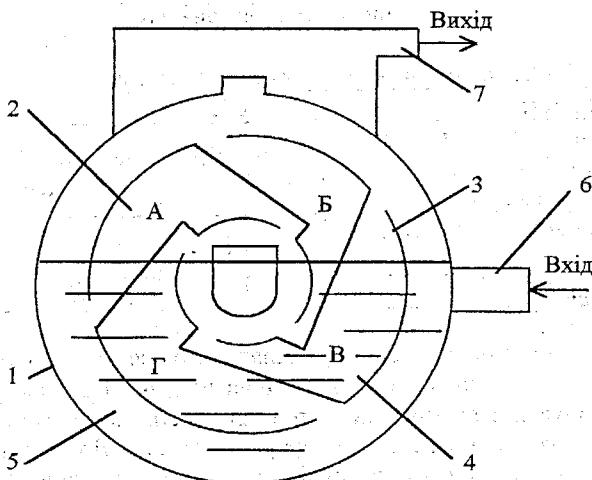


Рисунок 2.7 - Принципова схема газового лічильника

Лічильник працює таким чином. Газ через вхідний штуцер 6 поступає в газорозподільчу камеру 5, а звідти - в з'єднану з нею вимірювальні камери А й Г ротора 2. Внаслідок підвищення тиску газу на перегородки зі сторони входу ротор 2 починає обертатися. Вимірювальні камери Б й В закручуються в запірну рідину. Газ витісняється в простір корпусу 1 над ротором, що з'єднаний з вихідним штуцером 7. При подальшому обертанні ротора 2 будуть заповнюватися газом вимірювальні камери В й Г, а камери А й Б будуть звільнятися від нього. Таким чином, за один оберт ротор 2 витісняє кількість газу, яка рівна об'єму чотирьох вимірювальних камер.

Відліковий пристрій, що має роликівий лічильник й показник у вигляді стрілки, дозволяє реєструвати об'єм газу.

2.3.5 Побудники витрати повітря та електроаспіратори

Як побудники витрати повітря використовуються побутові пылососи, компресори, ротатійні й вібраційні насоси. Потужність побудника витрати та розрідження, що ним утворюється, повинна забезпечувати необхідну швидкість аспірації повітря.

При відборі проб пилу, коли необхідні великі швидкості аспірації, що перевищують $6 \text{ м}^3/\text{с}$, використовуються побутові електропылососи. Їх центробіжні вентилятори високого тиску створюють розрідження не менше 1300 мм водяного стовпа. При відбиранні проб повітря на газові інгредієнти, коли швидкості аспірації не перевищують $0,6 \text{ м}^3/\text{с}$, використовуються ротатійні побудники витрати повітря - електроаспіратори.

Для разового або безперервного відбирання проб повітря в автоматичних газоаналізаторах й хроматографах використовуються мембранні вібраційні насоси.

Електроаспіратори з ротатійним побудником витрати моделей ЕА-1А, ЕА-1 та 822 призначені для відбирання разових проб повітря на пил та газоподібні суміші для наступного аналізу.

Таблиця 2.3 - Характеристика електроаспіраторів

Параметри	822	ЕА-1	ЕА-2
1 Відбір проб повітря, $\text{м}^3/\text{с}$ 1-й та 2-й канали, 3-й та 4-й канали	0,006...0,12 0,06...1,2	0,015...0,06 0,06...0,24	9... 15
2 Сумарні витрати повітря, $\text{м}^3/\text{с}$	0,48	0,48	15
3 Похибка, %	10	10	6

Функціональна схема чотирьоканального електроаспіратора, що наведена на рис. 2.8, включає ротатійну повітродувку 1 з електродвигуном 2. До повітродувки 1 підключено чотири ротаметри 3, що забезпечують відбір проб повітря одноразово по чотирьох каналах. До вхідних штуцерів 4 через захисні патрони 5 підключаються поглинальні прилади 6 в вигляді

фільтроутримувачів з фільтрами. Для регулювання витрати повітря в каналах передбачені вентилі 7. Регулювання розрідження повітродувки 1 виконується розвантажувальним каналом 8.

Електроаспіратор працює таким чином. Під дією побудника витрати 1 в системі створюється розрідження. В результаті чого атмосферне повітря всмоктується через поглинальні прилади 6, проходить через захисні патрони 5 й викидається в атмосферу через побудник витрати.

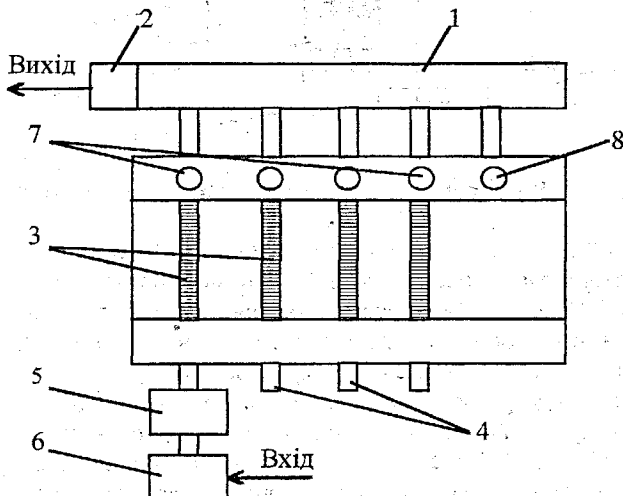


Рисунок 2.8 - Функціональна схема чотирьохканального електроаспіратора

Електроаспіратор з вентиляційним побудником витрати ЕА-2 призначений для аспіраційного відбору проб пилу з атмосферного повітря з метою наступного гравіметричного й спектрального аналізу. Він може також використовуватися для контролю забруднення атмосфери викидами промислових підприємств. Максимальні витрати повітря 9...15 м³/с з похибкою $\pm 6\%$.

Функціональна схема електроаспіратора ЕА-2 (рис. 2.9) включає вентиляційний побудник витрати 1, в якості якого використовується пилосос; забірний пристрій 2 в вигляді шлангу з фільтроутримувачем; витратомір 3 та пульт управління 4.

Витратомір 3 обладнаний дросельним пристроєм 5, дросельним пристроєм 6 в вигляді розтруба, в циліндричній частині якого вмонтована діафрагма з каліброваним отвором, тягонапоромір 8 для вимірювання перепаду тиску перед діафрагмою, газовим лічильником 9 та нагрівачем 10. Тягонапоромір 8 призначений контролювати швидкість аспірації в процесі відбору проб. Нагрівач 10 призначений підтримувати в витратомірі необхідний тепловий режим в межах $+20^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$.

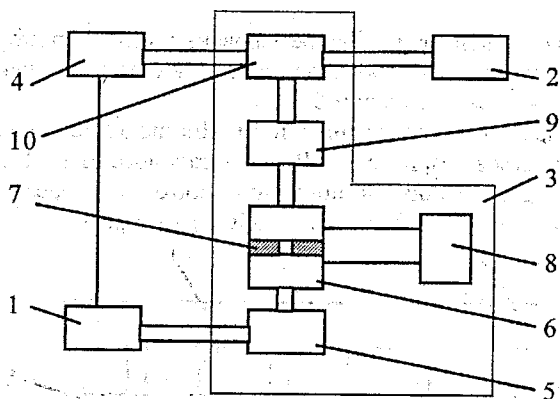


Рисунок 2.9 - Функціональна схема електроаспіратора ЕА-2

Прилад може працювати в автоматичному або ручному режимі. Електроаспіратор працює таким чином. За допомогою пылососа 1 через систему електроаспіратора протягується повітря з швидкістю, що регулюється дросельним пристроєм 6 й контролюється тягонапороміром 8. При проходженні повітря через фільтр 2 на ньому осідає пил.

Повітровідбирник "Компонент" призначений для аспіраційного відбирання проб атмосферного повітря з використанням поглинальних пристроїв. Прилад забезпечує цілодобове відбирання проб повітря циклами від 5 до 24 годин. Протягом циклу прилад забезпечує восьмиразове відбирання проб повітря по чотири компоненти одночасно. Тривалість відбирання проби від 5 до 30 хвилин. Діапазон вимірювання витрати повітря може мінятися відповідно до вимог методу визначення компоненту, що аналізується. Похибка вимірювання не перевищує 5%.

Електроаспіратор ЕА-2с призначений для аспіраційного відбирання проб пилу з атмосферного повітря з метою наступного графометричного й фізико-хімічного аналізів. Прилад одноканальний, як побудник витрати повітря використовується вихровий вентилятор. Максимальні витрати - $7,5 \text{ м}^3/\text{с}$, а мінімальні - $4,5 \text{ м}^3/\text{с}$. Похибка вимірювання об'єму повітря $\pm 5\%$. Електроаспіратор може працювати в ручному й автоматичному режимі.

Електроаспіратор ЕА-3 призначений для безперервного й циклічного відбору добової проби пилу з атмосферного повітря аспіраційним методом з метою наступного фізико-хімічного аналізу важких металів та канцерогенних речовин. Конструкція включає фільтрутримувач з захисним ковпачком, аспіраційний блок з витратоміром й побудником витрати повітря. Витрати повітря $0,0015 \dots 0,01 \text{ м}^3/\text{с}$ з похибкою вимірювання $\pm 5\%$.

2.4 Методи й засоби лабораторного та автоматичного контролю стану атмосферного повітря

2.4.1 Спектрофотометричний метод лабораторного аналізу проб повітря

Відібрані за допомогою поглинальних приладів й електроаспіраторів проби атмосферного повітря аналізуються фізико-хімічними методами, що дозволяють визначити вміст речовин з невеликою концентрацією.

Спектрофотометричний метод ґрунтується на спроможності забарвлених розчинів поглинати світло від ультрафіолетового до інфрачервоного діапазону. Поглинання залежить від властивості речовини та її концентрації. При цьому методі аналізу компонент, що досліджується, переводиться в сполучення, яке поглинає світло, а потім вимірюється кількість цього продукту за світловим потоком, який пройшов через розчин.

Спектрофотометричні вимірювання виконують за допомогою спектрофотометрів й фотоелектроколориметрів. Дія цих приладів ґрунтується на зміні інтенсивності світлового потоку при проходженні через розчин в залежності від товщини шару, міри забарвлення та концентрації. Мірою концентрації є оптична щільність D або коефіцієнт світлопропускання розчину τ , що визначається за формулою

$$\tau = 100 \Phi / \Phi_0 \% , \quad (2.2)$$

де Φ - повний світловий потік;

Φ_0 - пропущений через середовище світловий потік.

Для визначення концентрації речовини на фотоколориметрі порівнюють оптичні щільності розчину, що досліджується, та розчини стандартного ряду. З цієї метою спочатку за допомогою приладу вимірюють оптичні щільності серії розчинів, що мають різний заданий вміст речовини, що визначається. Будують на міліметровому папері залежність оптичної щільності від концентрації речовини в розчині, тобто градуйований графік приладу (рис. 2.10). Вимірюють оптичну щільність i за градуйованим графіком знаходять вміст речовини в розчині.

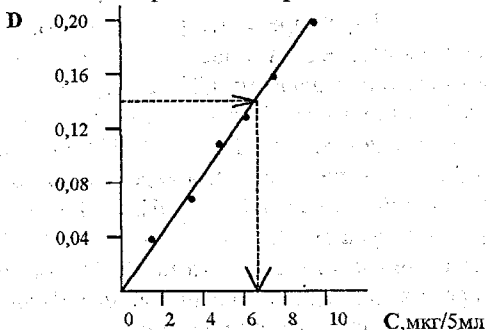


Рисунок 2.10.- Градуйований графік фотоколориметра

Фотоколориметри бувають одноканальні та двоканальні. В одноканальному приладі вимірювальний світловий потік Φ та компенсаційний світловий потік Φ_0 надходять на фотоперетворювач по черзі по одному оптичному каналу. В двоканальному приладі світлові потоки опромінюють свої фотоперетворювачі одноразово.

Колориметр фотоелектричний компенсаційний КФК призначений для вимірювання в окремих діапазонах довжин хвиль 315-630 нм, що виділяються світлофільтрами, коефіцієнтів пропускання й оптичної щільності рідких розчинів. Цей прилад забезпечує вимірювання коефіцієнта пропускання від 100% до 5%, що відповідає оптичній щільності від 0 до 1,3 з абсолютною похибкою до 7%.

В основі роботи приладу лежить компенсаційний метод вимірювання, що реалізується його функціональною схемою (рис. 2.11).

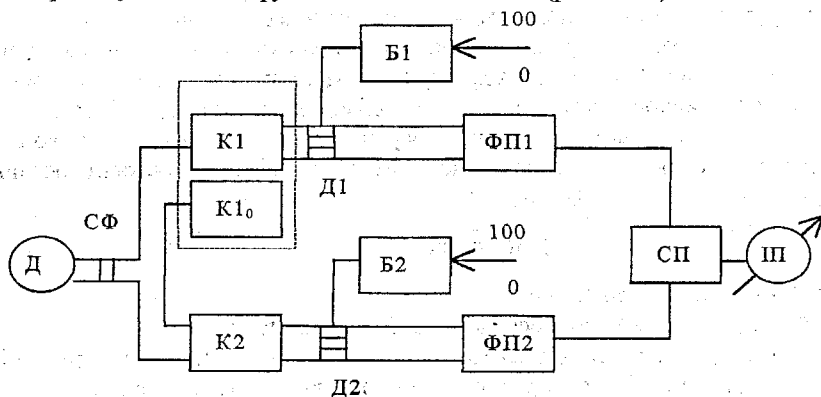


Рисунок 2.11 - Функціональна схема колориметра фотоелектричного компенсаційного КФК

Джерело світла (ДС) формує вимірювальний світловий потік Φ та компенсаційний Φ_0 , що через світлофільтр (СФ) поступають в кювети з розчином в вимірювальному каналі (К1) та компенсаційному каналі (К2), що заповнені дистильованою водою. Щоб корегувати результати вимірювання приладу передбачена заміна кювета К1 на кювету К1₀, що заповнюється нульовим розчином. Через розсувні діафрагми (Д1 та Д2) вимірювальний (Φ) та компенсаційний (Φ_0) світлові потоки поступають на фотоперетворювачі в вимірювальному (ФП1) та компенсаційному (ФП2) каналах. З фотоперетворювачів ФП1 та ФП2 електричні сигнали через схему порівняння (СП) поступають на індикаторний прилад (ІП). Барабани Б1 та Б2 призначені для регулювання розмірів діафрагм Д1 та Д2.

Колориметр фотоелектричний компенсаційний КФК-2 призначений для вимірювання в окремих діапазонах довжин хвиль 315-980 нм, що виділяються світлофільтрами, коефіцієнтів пропускання й оптичної щільності рідинних розчинів. Прилад забезпечує вимірювання коефіцієнтів сві-

тлопропускання від 100% до 5%, що відповідає оптичній щільності від 0 до 1,3 з абсолютною похибкою $\pm 1\%$.

Принцип вимірювання коефіцієнта пропускання полягає в тому, що на фотоприймачі по черзі направляються повний світловий потік Φ_0 та потік, що пройшов через досліджуване середовище Φ . Цей принцип реалізується його функціональною схемою (рис. 2.12):

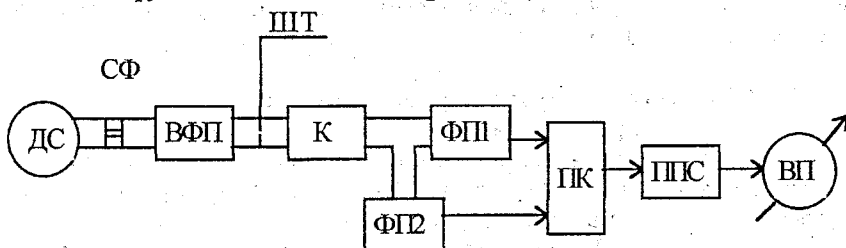


Рисунок 2.12 - Функціональна схема колориметра фотоелектричного компенсаційного КФК-2

Світло від джерела (ДС) через світлофільтри (СФ), що перетворено вузлом формування світлового променя (ВФП), через кюветне відділення (К) поступає на перетворювач ФП1, що працює в межах спектру 315-540 нм, та фотоперетворювач (ФП2), що працює в межах спектра 590-980 нм. За допомогою комутуючого пристрою (ПК) фотоперетворювачі ФП1 та ФП2 вибірково підключаються до входу підсилювача постійного струму (ППС). Підсилений сигнал, що пропорційний світлопропусканню (оптичній щільності) розчину вимірюється приладом (ВП). Для регулювання нуля приладу передбачена шторка перекриття світлового потоку (ШТ).

Спектрофотометр СФ-26 призначений для вимірювання в двох діапазонах коефіцієнтів пропускання рідких й твердих речовин в межах спектра 186...1100 нм. Для роботи спектрометра в межах спектра 186...650 нм використовують сурмацезієвий фотоелемент з вікном із кварцевого скла та дейтерійову лампу як джерело світла. Для роботи спектрометра в діапазоні спектра 600...1100 нм використовують киснево-цезійовий фотоелемент та звичайну лампу розжарювання як джерело світла.

Вимірювання виконується методом електричної автокомпенсації, що реалізується його функціональною схемою (рис. 2.13).

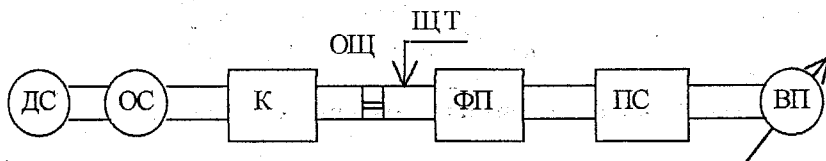


Рисунок 2.13 - Функціональна схема спектрофотометра СФ-26

В монохроматичний потік, що формується джерелом світла (ДС) й оптичною системою (ОС), по черзі в кюветне відділення (К) встановлюються контрольний та вимірювальний зразки. Випромінювання через оптичну щілину (ОЩ) попадає на фотоприймач (ФП), що перетворює світловий сигнал в електричний, який після підсилення підсилювачем сигналу (ПС), вимірюється приладом (ВП). Для установлення 100% пропускання контрольного зразка, тобто установки електричного нуля приладу, використовується штorka (ШТ).

2.4.2 Метод газової хроматографії лабораторного аналізу проб повітря

Для аналізу повітряного середовища, що насичене органічними речовинами, використовується хроматографічний метод, який ґрунтується на розділенні й аналізі суміші в динамічних умовах.

Суть хроматографічного методу така. Для розділення й аналізу суміші через колонку, що заповнена сорбентом, спочатку пропускають інертний газ-носії. Через певний час в колонку вводять газову суміш, в яку входить декілька інгредієнтів. Через різну здатність поглинатися, тобто сорбції, захваченим газом-носієм, швидкість переміщення компонентів в шарі сорбенту різна. Внаслідок цього відбувається розділення компонентів на зони у відповідному порядку. Кожний компонент суміші переміщується вздовж сорбенту з постійною швидкістю, що дозволяє ідентифікувати його при виході з колонки й визначити кількість. Для ідентифікації речовин, що виходять з колонок, використовують різні детектори.

Функціональна схема газового хроматографа (рис. 2.14) включає джерело газу-носія, блок розподільних колонок, детектор, пристрої для введення проб, прилади контролю й регулювання тиску й швидкості газу.

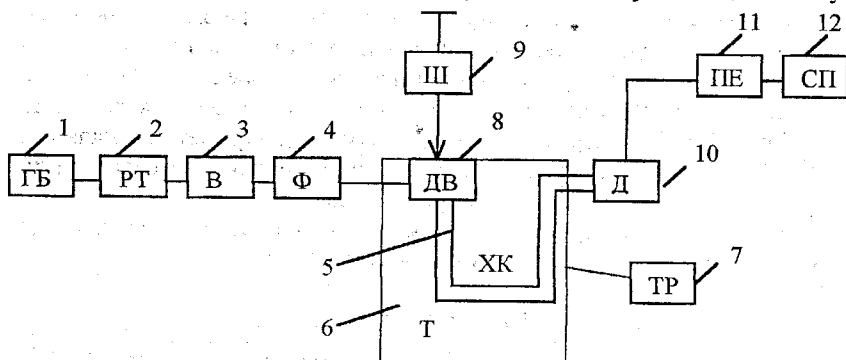


Рисунок 2.14 - Функціональна схема газового хроматографа

Газ-носії з балону (ГБ) 1 через регулятор тиску (РГ) 2, витратомір (В) 3 й фільтр (Ф) 4 надходить в хроматографічну колонку (ХК) 5. Для збереження постійних властивостей сорбенту хроматографічна колонка 5

розміщена в термостаті (Т) 6, стала температура якого підтримується терморегулятором (ТР) 7. Тиск газу перед входом в колонку вимірюється манометром, а його витрати - ротаметром. Проба, що аналізується, вводиться в хроматографічну колонку 5 через дозатор-випарник (ДВ) 8 за допомогою мікрошприця (Ш) 9. В дозаторі 8 ця проба захвачується газом-носієм й надходить в хроматографічну колонку 6.

Зміна складу газової суміші викликає в детекторі (Д) 10 зміну величини струму в електричній мережі, який після підсилення підсилувачем (ПС) 11 надходить на самопис (СП) 12. На стрічці приладу 12 записується крива зміни електричного потенціалу, що пропорційна концентрації речовини в газі-носії при виході з колонки. По цій кривій, що називається хроматограмою, визначають кількісний і якісний склад суміші, яка аналізується. Градування хроматографа виконують за стандартними сумішами.

Для повного аналізу продуктів згорання палива використовують хроматограф "Газохром 3101".

Концентрацію компонента в газі, що досліджують за допомогою хроматографа, знаходять за формулою:

$$C = \frac{X_j \cdot K_{jcm} \cdot m_{cm}}{X_{cm} \cdot V_0} \quad \text{мг/м}^3, \quad (2.3)$$

де V_0 - об'єм пропущеного через хроматограф газу, який приведено до нормальних умов;

X_j, X_{cm} - висоти піків j -го компонента й стандарту, що виміряні на хроматографі;

K_{jcm} - коефіцієнт градування;

m_{cm} - вміст речовини, що прийнята за стандарт в суміші, мг.

2.4.3 Електрохімічний метод та апаратура для його реалізації

Методи лабораторного хімічного аналізу проб повітря прості в реалізації, але їх недоліком є значні затрати часу на відбирання проб й проведення аналізу. В результаті чого інформація про забруднення повітряного басейну поступає з запізненням, що може привести до небажаних наслідків.

З метою оперативного визначення концентрації забруднюючих речовин й управління процесом очищення повітря використовують автоматичні засоби спостережень шляхом включення апаратури автоматичного газового аналізу в систему контролю й управління технологічними процесами. В основі роботи газоаналізаторів для визначення концентрації оксиду вуглецю, хлору, діоксиду сірки, оксидів азоту, озону, вуглеводних, що містяться в викидах всіх підприємств, лежать фізико-хімічні методи, що реалізуються різню за конструктивними особливостями апаратурою.

Робота електрохімічних газоаналізаторів ґрунтується на таких методах аналізу: кулоно-полярографічний, потенціостатичної амперметрії.

Обидва методи реалізуються за допомогою електрохімічних комірок. В цих комірках відбувається електрохімічна реакція, якщо через них про-

качувати газову суміш, що містить речовини, які визначаються газоаналізатором. Енергія хімічної реакції перетворюється безпосередньо в електричну. Сигнал з електрохімічної комірки, що пропорціональний кількості досліджуваного компонента в повітрі, вимірюється електропною схемою приладу "Атмосфера 1", "Атмосфера 11", "Палладій 2М".

Основним елементом приладів "Атмосфера 1" та "Атмосфера 11" є електрохімічна комірка, яка працює в режимі гальванічного елемента. Електрохімічна комірка має вимірювальний та порівняльний електроди, що розміщені відповідно в вимірювальній та порівняльній камерах. Обидві камери заповнені відповідними речовинами, що забезпечують електрохімічну реакцію при визначенні концентрації компонента, що досліджується в газовій суміші. При прокачуванні через вимірювальну камеру суміші, яка аналізується, при наявності досліджуваного компонента відбувається процес перетворення енергії хімічної реакції в електричну. В результаті виникає струм, сила якого пропорціональна кількості досліджуваного компонента. При відсутності досліджуваного компонента різниці потенціалу на вимірювальному та порівняльному електродах немає.

Функціональна схема газоаналізатора "Палладій 2М" для визначення концентрації оксиду вуглецю, робота електрохімічної комірки якого ґрунтується на методі потенціальної амперометрії, наведена на рис. 2.15.

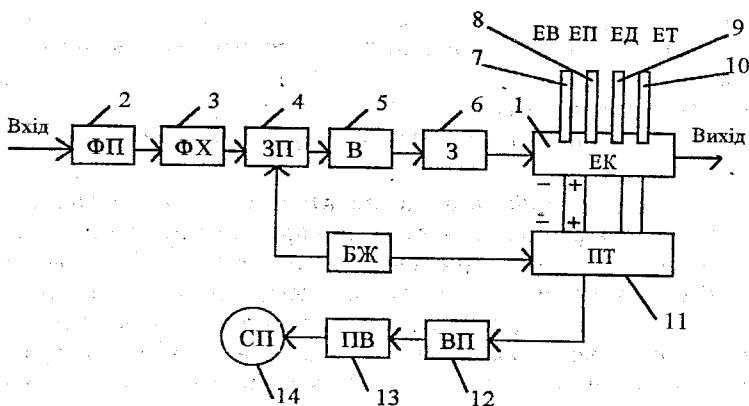


Рисунок 2.15 - Функціональна схема газоаналізатора "Палладій 2М"

Газ, що аналізується, перед подачею в електрохімічну комірку (ЕК) 1 очищається від механічних домішок в повітряному фільтрі (ФП) 2. Очищення від домішок, що утруднюють визначення кількості оксиду вуглецю, відбувається в хімічному фільтрі (ФХ) 3. Збуджувач повітря (ЗП) 4 з попереднім контролем за витратами витратоміром (В) 5, яким є ротаметр, та після дозволження в зволожувачі (З) 6 газова суміш подається в електрохімічну комірку 1. В електрохімічній комірці розміщені вимірювальний

(ЕВ) 7, порівняльний (ЕП) 8, допоміжний (ЕД) 9 та температурний (ЕТ) 10 електроди. Всі ці електроди з'єднані з потенціостатом (ПТ) 11, яким є трикаскадний підсилювач постійного струму.

Газ, який аналізується, при проходженні через електрохімічну комірку 1 викликає окислення вуглецю. Це є причиною протікання струму в зовнішній мережі, величина якого пропорціональна кількості оксиду вуглецю. Сигнал, величина якого рівна різниці потенціалів вимірювального 7 та порівняльного 9 електродів, з електрохімічної комірки 1 поступає на потенціостат 11. Таким чином, потенціостат 11 та електрохімічна комірка 1 після окислення окису вуглецю на вимірювальному електроді 7 виробляють струм поляризації, який подається на відліковий пристрій (ВП) 12. На виході відлікового пристрою 12 послідовно включені вимірювальний прилад (ПВ) 13 та самописний потенціометр (СП) 14, які реєструють концентрацію оксиду вуглецю.

2.4.4 Інфрачервоний метод й прилади для його реалізації

Робота інфрачервоних газоаналізаторів ґрунтується на методі вимірювання поглинання енергії випромінювання газом, який аналізується. Реалізується інфрачервоний метод аналізу двопробеневою апаратурою з вибірково працюючим приймачем випромінювання.

Функціональна схема інфрачервоного газоаналізатора наведена на рис. 2.16 і містить джерело випромінювача (ДВ) 1, фільтрувальну камеру (КФ) 2, канал порівняльний (КП) 3, канал робочий (КР) 4, переривник (П) 5, елемент чутливий (ЕЧ) 6, приймач випромінювача (ПВ) 7, електронну схему (ЕС) 8, вимірювальний прилад (ВП) 9; самописний потенціометр (СП) 10.

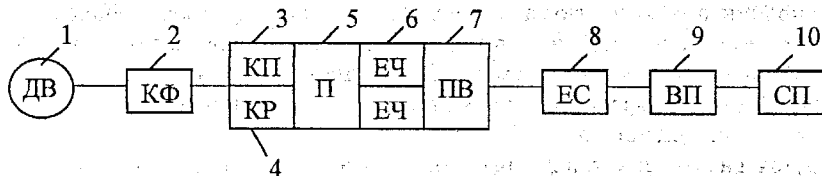


Рисунок 2.16 - Функціональна схема інфрачервоного газоаналізатора

Принцип дії інфрачервоного газоаналізатора полягає в тому, що якщо в приймач випромінювання 7 помістити газ, який відповідає смізі поглинання газу, що аналізується, й подіяти на нього потоком радіації з джерела випромінювання 1, то газ за певний час нагріється до деякої температури. Одночасно відповідно підвищиться його тиск. З джерела випромінювання 1 радіація в приймач випромінювання 7 надходить через фільтрувальну камеру 2 по двом паралельним каналам: порівняльному 3 та робочому 4. Через порівняльний канал 3 пропускають азот, що не поглинає радіації. Тому коливань температури й тиску не буде, а амплітуда цих параметрів буде максимальна.

Якщо переривати з деякою частотою потік випромінювання, то в приймачі 7. буде попадати модульований потік випромінювання. Газ, який знаходиться в приймачі випромінювання 7, періодично буде нагріватися або охолоджуватися. В результаті виникають коливання температури й тиску, що залежать від концентрації речовини, що аналізується, які реєструються чутливими елементами 6, що розміщені в поглинальній камері 7. Сигнали з цих елементів надходять на електронну схему 8, що має на виході прилад реєстрації 9 та самописний потенціометр 10.

На практиці використовуються оптико-акустичні газоаналізатори ГМК-3 та ГІАМ-1.

Автоматичний стаціонарний газоаналізатор ГМК-3 призначений для безперервного вимірювання концентрації оксиду вуглецю в газових сумішах. Він має три діапазони вимірювання: 0...40, 0...80, 0...400 мг/м³ з похибкою $\pm 5...10\%$.

Оптико-акустичний газоаналізатор ГІАМ-1 призначений для безперервного вимірювання концентрації оксиду вуглецю, в діапазоні 0...160 мг/м³. Він має три шкали вимірювання: 0...40, 0...80, 0...160 мг/м³ з похибкою $\pm 5\%$.

2.4.5 Люмінесцентний метод й прилади для його реалізації

Люмінесценція ґрунтується на переході випромінюючих світло атомів, молекул та іонів в збуджений стан внаслідок поглинання енергії, що приноситься збуджувальними джерелами енергії. При поверненні їх в нормальний або менше збуджений стан відбувається виділення світла. Люмінесценція, що припиняється одразу після закінчення дії збуджувача свічення, називається флуоресценцією. Люмінесценція, що зберігається тривалий час після припинення дії збуджувача свічення, називається фосфоресценцією.

Люмінесценція під дією світла називається фотолюмінесценцією, під дією хімічних перетворень - хемілюмінесценцією, під дією рентгенівських променів - рентгенофлуоресценцією, під дією електричного струму й поля - електролюмінесценцією.

Для визначення концентрації оксидів азоту, вуглецю, сірки, озону, аміаку використовують газоаналізатори, що працюють на принципі хемілюмінесценції.

При визначенні концентрації оксиду вуглецю методом хемілюмінесценції проходить реакція



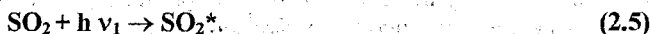
де h - стала Планка; ν - частота світла, що випромінюється.

Хемілюмінесцентне випромінювання спостерігається в видимій частині світла при довжині хвилі $\lambda = 400$ нм. Границя визначення CO - 0,5 мг/м³.

Для визначення концентрації шкідливих домішок, що забруднюють атмосферне повітря, використовують газоаналізатори шестисотої серії. Ці

газоаналізатори виконані як блочно-модульні, що мають в своєму складі блок аналізу, електронний блок, блок побудника витрати, блок автоматичного управління та реєстратор, що з'єднані між собою газовими й електричними мережами.

Газоаналізатор 667 ФФ-01 призначений для визначення концентрації діоксиду сірки в атмосферному повітрі. Його робота ґрунтується на флуоресцентному методі. Спочатку ультрафіолетовим випромінюванням збуджують молекулу діоксиду сірки



Збуджена молекула діоксиду сірки SO_2^* переходить в основний стан з випромінюванням кванту світла



Інтенсивність випромінювання, яка реєструється за допомогою фотокатоду, пропорціональна концентрації діоксиду сірки.

Газоаналізатор має три діапазони вимірювання концентрації діоксиду сірки: 0...0,5 мг/м³; 0...1,5 мг/м³; 0...5,0 мг/м³ з похибкою $\pm 0,01$ мг/м³.

Газоаналізатор 652 ХЛ-01 призначений для визначення концентрації озону в атмосферному повітрі. Його робота ґрунтується на хемілюмінесцентному методі, суть якого полягає в тому, що при відповідних умовах реакція етилену C_2H_4 з озоном O_3 відбувається з люмінесцентним випромінюванням



Інтенсивність випромінювання реєструється за допомогою фотокатоду й пропорціональна кількості озону.

Газоаналізатор має чотири діапазони вимірювання концентрації озону (мг/м³): 0...0,05; 0...0,15; 0...0,5; 0...1,5.

Газоаналізатор 645 ХЛ-01 призначений для визначення концентрації оксиду азоту, діоксиду азоту та їх сумарного вмісту в атмосферному повітрі. Його робота ґрунтується на хемілюмінесцентному методі, суть якого полягає в тому, що при взаємодії оксиду азоту з озоном при відповідних умовах відбувається люмінесцентне випромінювання



Інтенсивність випромінювання в інфрачервоному діапазоні реєструється за допомогою фотокатоду й пропорціональна концентрації оксиду азоту в повітрі.

Для визначення концентрації діоксиду азоту NO_2 та суміші оксидів $\text{NO} + \text{NO}_2 + \text{NO}_x$ є додатковий канал перетворення діоксиду азоту NO_2 в оксид азоту NO .

Газоаналізатор має чотири діапазони вимірювання концентрації оксидів азоту (мг/м^3): 0...0,25; 0...0,75; 0...2,5; 0...7,5 з похибкою $\pm 20\%$.

2.4.6. Полум'яно-іонізаційний метод й прилади для його реалізації

Суть методу полягає в тому, що органічні речовини, які розмішують в полум'ї водню, викликають утворення іонів. При переміщенні цих іонів в електричному полі між електродами виникає струм, величина якого пропорційна концентрації органічних речовин.

Газоаналізатор **623 ИН-2** призначений для визначення суми вуглеводів ($\Sigma\text{СН}$), метану (СН_4) й суми вуглеводів без метану ($\Sigma\text{СН}_4\text{-СН}_4$) в атмосферному повітрі. Концентрацію вуглеводів в повітрі визначають вимірюванням струму іонізації, який виникає при введенні в полум'я водню молекул органічних речовин.

Газоаналізатор має три діапазони вимірювання концентрації суми вуглеводів, метану, суми вуглеводів без метану (мг/м^3 для метану): 0...5; 0...15; 0...50 з похибкою $\pm 20\%$.

Газоаналізатор включає блок аналізу, блок розділення вуглеводів та блок автоматичного керування. Газова частина блоку аналізу має побудник витрати для забору атмосферного повітря на аналіз; фільтри для очистки повітря від механічних домішок; пристрої переключення газових каналів для установа режимів роботи; пристрої стабілізації й контролю витрати повітря, що аналізується та для підтримання горіння; пристрій стабілізації витрати водню.

2.4.7. Комплексні лабораторії для спостереження за станом атмосферного повітря

Для стаціонарних спостережень за станом атмосферного повітря в містах й зонах розміщення промислових об'єктів використовують комплексні лабораторії "Пост-1", "Пост-2" та "Пост-3", пересувну лабораторію "Атмосфера-П" й автоматичну станцію контролю забруднення атмосфери АСКЗА-Г.

Лабораторія "Пост-1" - укомплектований обладнанням й приладами павільйон розмірами 2175×2175×2780 мм. Вимірювальний комплекс має системи відбирання проб повітря на газові інгредієнти, пил, сажу та їх інструментального аналізу, а також вимірювання метеорологічних параметрів.

Система відбирання проб повітря на газові домішки (рис. 2.17) включає: повітряозабірник 1, розподільчу гребінку 2, поглинальні прилади 3, захисні патрони 4 й два електроаспіратори 5. Під дією електроаспіраторів 5 повітря всмоктується в повітряозабірник 1, проходить через розподільчу гребінку 2, поглинальні прилади 3, захисні фільтри 4, ротаметри й че-

рез аспіратор викидається на вулицю. Повітря нагрівається елементом 6, який керується терморегулятором 7.

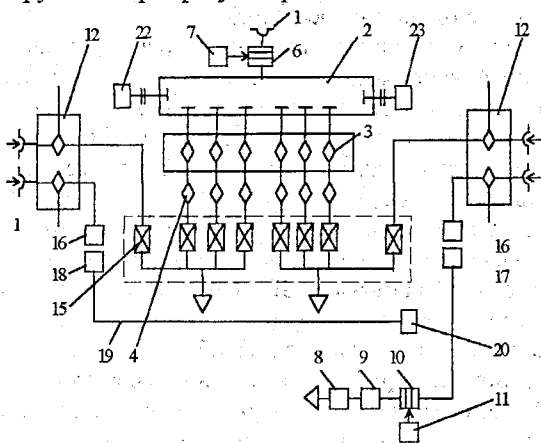


Рисунок 2.17 - Функціональна схема лабораторії "Пост-1"

Система відбирання проб повітря на пил включає побудник витрати 8, ротаметр 9, камеру підігріву 10 з терморегулятором 11 та блок відбирання проб 12.

Блок відбирання проб 12, схема якого наведена на рис. 2.18, включає трубу 13, на один кінець якої натягають фільтроутримувач 14 з фільтром, а другий кінець закінчується гнучким шлангом 15 з шліфом 16, за допомогою якого блок з'єднується з газовою схемою.

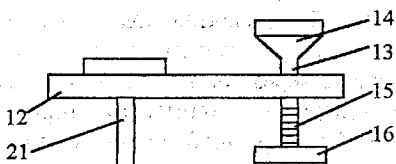


Рисунок 2.18 - Блок відбирання проб

Для відбирання проб повітря на пил фільтроутримувач через один з чотирьох люків, що розміщені попарно на протилежних сторонах павільйону на висоті 1,5 м від землі, виставляється назовні. В залежності від напрямку вітру блок відбирання проб 12, що є переносним, за допомогою шліфів 16 та 17 з'єднується з камерою підігріву 10, або за допомогою шліфа й трубопроводу 19 з'єднується через шліф 20 з камерою підігріву 10.

Система відбирання проб повітря включає сажовий патрон 21, що є складовою частиною блоку відбирання проб 12. Патрон 21 з аспіратором 5 з'єднується за допомогою резинової трубки.

Система інструментального аналізу для визначення концентрації оксиду вуглецю включає газоаналізатори "Паладій-2М" та МК-3. Газоаналізатори 22 та 23 з'єднані з розподільчою гребінкою 2.

Система вимірювання метеорологічних параметрів передбачає спостереження за швидкістю й напрямом вітру, температурою й відносною вологістю повітря. Контроль за роботою датчиків температури й вологості повітря виконують за допомогою аспіраційного психрометра. Атмосферний тиск вимірюють барометром-анероїдом. Датчик параметрів вітру установлений на мачті, що кріпиться до павільйону.

Система електропостачання, опалення й освітлення від мережі змінного струму. В середині павільйону обладнано робоче місце для спостерігача.

Пересувна лабораторія "Атмосфера-II" призначена для виконання спостережень за рівнем забруднення атмосферного повітря й дозволяє робити одноразовий відбір чотирьох-шести проб. Проби повітря відбираються на газові інгредієнти, пил, сажу, інструментальний аналіз діоксиду сірки, сірководню, озону й хлору. Визначають також метеорологічні елементи й параметри, які необхідно враховувати при спостереженнях за рівнем забруднення атмосфери.

За функціональним призначенням прилади й обладнання поділяються на такі експлуатаційні системи: відбирання проб повітря на газові домішки; відбирання проб на пил; відбирання проб на сажу; інструментальний аналіз; вимірювання метеорологічних параметрів; електропостачання; опалення й освітлення.

Лабораторія представляє автоматизований комплекс, що змонтований в кузові автофургона типу УАЗ-452 а. Функціональна схема лабораторії "Атмосфера -II" наведена на рис. 2.19.

Система відбирання проб повітря на газові домішки передбачає відбирання проб по вертикальному й горизонтальному каналах. Відбирання проб на газові суміші по вертикальному каналу, що розміщений на висоті 2,6 м над рівнем землі, виконують через повітрязабірник 1, який трубопроводом з перемикачем 2 через підігрівач 3 з терморегулятором 4 з'єднаний з розподільчою гребінкою 5. Відбирання проб по горизонтальному каналу виконують через повітрязабірник 6, який закріплений на виносному утримувачі 7.

Проби повітря відбирають за допомогою двох електроаспіраторів 8 та 9 моделі 822. Для установлення в систему поглинальних приладів 10 використовуються штативи 11. Захисні фільтри 12 установлюють між ротаметрами електроаспіраторів й "виходами" поглинальних приладів. "Входи" поглинальних приладів з'єднані з розподільчою гребінкою 5. Під дією електроаспіраторів повітря втягується через повітрязабірник 1 або 6, що регулюється перемикачем 2. Потім повітря проходить через розподільчу гребінку 5, поглинальні прилади 10, захисні фільтри 12, ротаметри й через аспіратори викидається назовні.

Система відбирання проб повітря на пил включає побудник витрати 13, витратомір 14, підігрівач 15 з терморегулятором 16 та пиловий патрон 17, який знаходиться на виносному штативі 7.

Система відбирання проб повітря на сажу включає сажовий патрон 18, який кріпиться на штативі 7, та електроаспіратор 9 моделі 822. Газоіндикатори для інструментального аналізу повітря підключаються до розподільчої гребінки 5 за допомогою вхідного штуцера 19.

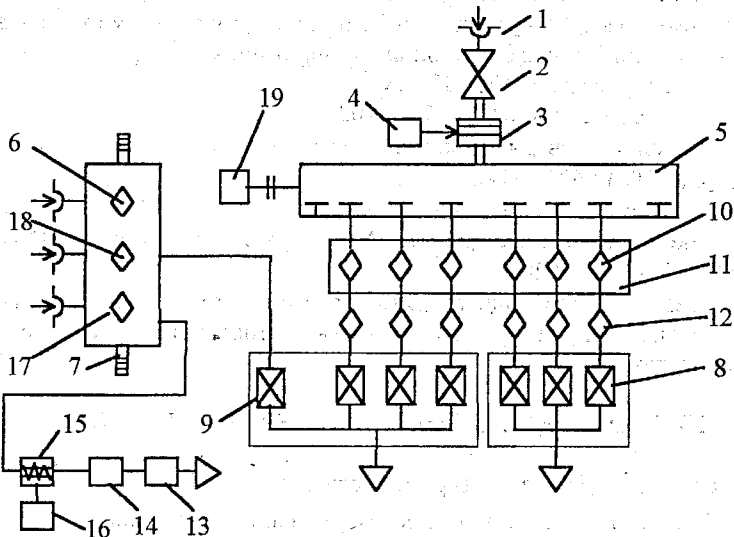


Рисунок 2.19 - Функціональна схема лабораторії "Атмосфера-ІІ"

Система вимірювання метеорологічних параметрів включає дистанційний анеморумбометр М-47, аспіраційний психрометр, барометр-анероїд, ручний анемометр МС-43 та вітромір.

Автоматична станція контролю забруднення атмосфери АСКЗА-Г призначена для автоматичного контролю й спостереження за станом атмосферного повітря міст та великих промислових підприємств й центрів. Станція забезпечує в автоматичному режимі збирання, перетворення, обробку й реєстрацію значень концентрації дев'яти шкідливих домішок в атмосфері: оксиду вуглецю, діоксиду сірки, озону, оксиду азоту, діоксиду азоту, суми оксидів азоту, метану, суми вуглеводних, суми вуглеводних без метану. Вимірюються також чотири метеопараметри - швидкість й напрям вітру, температура повітря й температура точки роси.

Конструктивно станція АСКЗА-Г виконана в вигляді павільйону з зовнішніми розмірами 4700 × 2300 × 3100 мм. Зверху павільйону змонтовані пристрої для забору проб повітря, мачти з метеорологічними датчиками та витяжна вентиляція.

Станція АСКЗА-Г включає систему електропостачання з розподільною та керувальною апаратурою, пристрої для опалення й витяжної вентиляції, пристрої для забирання й викидання повітря, що аналізується, пристрої для збирання й переробки інформації та апаратури для передавання даних.

Спостереження за станом атмосферного повітря виконує газовимірювальна автоматична багатоканальна система й комплект метеодатчиків. В газовимірювальну автоматичну багатоканальну систему входять автономні автоматичні газоаналізатори для вимірювання:

- оксиду вуглецю CO - ГІАМ-1;
- діоксиду сірки SO₂ - 667 ФФ-02;
- суми вуглеводних, метану, суми вуглеводних без метану (Σ СН, СН₄, Σ СН-СН₄) - 623 ИН-02;
- концентрації озону O₃ - 652 ХЛ-01;
- концентрації оксиду, діоксиду, суми оксидів азоту (NO, NO₂, Σ (NO+N O₂)) - 645 ХЛ-01.

Газоаналізатори, що входять в систему, можуть експлуатуватися в трьох режимах: ручному, автоматичному автономному та автоматичному дистанційному.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ДЛЯ ПЕРЕВІРКИ ЗНАНЬ

1. Охарактеризуйте атмосферу та її складові.
2. Дайте загальну характеристику забруднення атмосфери.
3. Наведіть класифікацію джерел забруднення атмосфери.
4. Назвіть види атмосферних забруднень за розмірами.
5. Дайте характеристику видам обстеження стану забруднення атмосфери.
6. Назвіть основні етапи робіт при комплексному обстеженні.
7. Склад програми експериментальних робіт при обстеженні стану атмосфери.
8. Організація стаціонарних постів для спостереження за рівнем забруднення атмосфери.
9. Особливості маршрутних та підфакельних спостережень за станом атмосферного повітря.
10. Охарактеризуйте спостереження за вмістом в атмосфері корозійно-активних домішок.
11. Склад програми та видів робіт при визначенні рівня забруднення атмосфери викидами автотранспорту.
12. Які метеорологічні спостереження виконують при комплексному обстеженні стану атмосфери?

13. Які характеристики забруднення визначають при обробці результатів комплексного обстеження стану атмосфери?
14. Методи вимірювання шкідливих речовин в атмосферному повітрі.
15. Вимоги, яким повинно відповідати поглинальне обладнання.
16. Поясніть принцип дії та побудову поглинального обладнання.
17. Основні елементи фільтроутримувача.
18. Поясніть принцип дії та будову ротаметра.
19. Поясніть принцип дії та будову реометра.
20. Назвіть основні вузли барабанного газового лічильника та поясніть принцип його роботи.
21. Охарактеризуйте основні типи побудовників витрати.
22. Наведіть функціональну схему чотириканального електроаспіратора.
23. Наведіть функціональну схему електроаспіратора з вентиляційним побудником витрати.
24. Поясніть фізичні основи спектрофотометричного методу аналізу.
25. Функціональна схема та принцип дії калориметрів фотоелектричних компенсаційних КФК та КФК-2.
26. Призначення та конструктивні особливості спектрофотометра СФ-26.
27. Суть хроматографічного методу аналізу.
28. Поясніть фізичні основи електрохімічного методу аналізу.
29. Назвіть основні елементи та поясніть принцип дії електрохімічної комірки.
30. Функціональна схема газоаналізатора "Палладій-2М".
31. Фізична суть інфрачервоного методу аналізу повітря та прилади для його реалізації.
32. Фізична суть люмінесцентного методу аналізу повітря та прилади для його реалізації.
33. Особливості полум'яно-іонізаційного методу аналізу повітря.
34. Призначення, обладнання та функціональна схема лабораторії "Пост-І".
35. Призначення, обладнання та функціональна схема пересувної лабораторії "Атмосфера-ІІ".
36. Призначення та обладнання автоматичної станції контролю забруднення атмосфери.

3 УПРАВЛІННЯ Й ПРОГНОЗУВАННЯ В СИСТЕМІ МОНІТОРИНГУ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ

3.1 Правові й організаційні основи моніторингу атмосферного повітря

Екологічне управління - свідоме регулювання біосфери у відповідності з практичними завданнями суспільства на підставі установлених об'єктивних закономірностей природного або антропогенного характеру.

Завдання екологічного управління:

- знаходження зон стійкого стану екосистеми;
- відновлення вихідного стану екосистеми;
- перевід екосистеми в інший стійкий стан.

Основні принципи управління в системі моніторингу атмосферного повітря:

- управління здійснюється на базі цільових функцій з врахуванням попередніх та поточних показників стану атмосферного повітря, модельних прогностичних параметрів, планування організаційно-технологічних заходів;

- управління стає практично здійсненим при оптимальному наборі інтегральних кількісних або якісних параметрів про стан атмосферного повітря;

- управління потребує постійного накопичення та декомпозиції бази даних;

- повнота управління визначається мірою та достовірністю врахування обміну енергією, речовиною та інформацією в даній екосистемі.

З метою визначення правових й організаційних вимог до охорони й використання атмосферного повітря Верховною Радою України 16 жовтня 1992 року прийнято закон "Про охорону атмосферного повітря", що включає 10 розділів.

1. Загальні положення.
2. Стандартизація й нормування в галузі охорони атмосферного повітря.
3. Заходи з охорони атмосферного повітря.
4. Виконання вимог з охорони атмосферного повітря при проектуванні, будівництві й реконструкції промислових об'єктів.
5. Регулювання відносин в галузі використання атмосферного повітря.
6. Економічний механізм забезпечення охорони атмосферного повітря.
7. Контроль в галузі охорони атмосферного повітря.
8. Державний облік та моніторинг в галузі охорони атмосферного повітря.
9. Правопорушення в галузі охорони атмосферного повітря та відповідальність за них.
10. Міжнародні відношення.

Основні задачі цього закону:

- регулювання відношень в галузі атмосферного повітря з метою збереження, поліпшення та відтворення його стану;
- запобігання й зниження шкідливого хімічного, біологічного, фізичного та іншого впливу на атмосферне повітря;
- забезпечення раціонального використання атмосферного повітря для виробничих потреб;
- посилення правопорядку та законності в галузі охорони атмосферного повітря.

Законом передбачені обов'язки організацій, підприємств і установ з охорони атмосферного повітря:

- здійснювати організаційно-господарчі, технічні та інші заходи для забезпечення умов й вимог, що передбачені в дозволах на викиди забруднюючих речовин й на інший шкідливий вплив;
- вживати заходів для зменшення обсягів викидів забруднюючих речовин й зменшенню шкідливої дії фізичних й біологічних факторів;
- забезпечувати безперебійну ефективну роботу й підтримання в робочому стані споруд, обладнання й апаратури для очищення викидів й зменшення рівнів іншого шкідливого впливу;
- здійснювати контроль за об'ємом й складом забруднюючих речовин, що викидаються в атмосферне повітря та рівнів іншого шкідливого впливу й вести їх постійних облік;
- мати заздалегідь розроблені спеціальні заходи з охорони атмосферного повітря на випадок аварійних ситуацій та несприятливих метеоумов й вживати заходів для ліквідації причин та наслідків забруднення атмосфери.

Законом передбачається державний, виробничий та громадський контроль в галузі атмосферного повітря. Державний контроль в галузі охорони атмосферного повітря здійснюється місцевими органами державної виконавчої влади, Міністерствами охорони навколишнього середовища й охорони здоров'я та їхніми органами на місцях, державною автомобільною інспекцією. Виробничий контроль за охороною атмосферного повітря виконують при проектуванні, будівництві й експлуатації споруд, обладнання й апаратури для очищення викидів в атмосферу; за забезпеченням приладами, що необхідні для постійного нагляду за ефективністю очищення; за дотриманням нормативів викидів забруднюючих речовин.

Відповідно до закону державному обліку й моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря належать:

- об'єкти, які шкідливо впливають або можуть вплинути на стан атмосферного повітря;
- об'єми атмосферного повітря, що використовуються в якості сировини основного виробничого призначення;
- види й розміри шкідливих речовин, що викидаються в атмосферне повітря;
- види й розміри шкідливого впливу фізичних й біологічних факторів на атмосферне повітря.

Чинним законодавством встановлено, що правопорушеннями в галузі охорони атмосферного повітря є:

- порушення прав громадян на екологічно безпечний стан атмосферного повітря;

- перевищення лімітів та нормативів гранично-допустимих викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря;

- перевищення нормативів гранично-допустимих рівнів шкідливого впливу фізичних й біологічних факторів на атмосферне повітря;

- викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря та використання атмосферного повітря в якості сировини основного виробничого призначення без дозволу спеціально уповноважених на те державних органів;

- виконання незаконної діяльності, що шкідливо впливає на погоду й клімат;

- впровадження винаходів, раціоналізаторських пропозицій, нових технічних систем, речовин й матеріалів, а також закупівля за рубежом та експлуатація технологічного обладнання, транспортних засобів та інших об'єктів, що не відповідають установленим вимогам з охорони атмосферного повітря;

- порушення правил складування й утилізації промислових й побутових відходів, транспортування, зберігання й використання засобів захисту рослин, стимуляторів їх росту, мінеральних добрив та інших препаратів, що визивають забруднення атмосферного повітря;

- проектування й будівництво об'єктів з порушенням норм й вимог з охорони й використання атмосферного повітря;

- невиконання розпоряджень й приписів органів, що виконують державний контроль в галузі охорони й використання атмосферного повітря;

- відмова від надання своєчасної, повної та достовірної інформації про стан атмосферного повітря, джерела забруднення, а також приховування або спотворення інформації про стан екологічної обстановки, що склалася внаслідок забруднення атмосферного повітря.

Законом встановлено, що особи, які винні в невиконанні чинного законодавства, несуть відповідальність відповідно до законодавчих актів України.

3.2 Моделювання та оцінювання якості повітряного басейну

Поряд з контролем якості повітряного басейну суттєве значення має моделювання його стану з метою прогнозування та управління в системі екологічного моніторингу. З цієї метою використовуються фізичні й математичні методи екологічного моделювання.

Фізичне моделювання - це коли природне явище, яке вивчається, відтворюється в певному масштабі зі збереженням його фізичної суті.

Математичне моделювання - спосіб дослідження природних явищ шляхом вивчення процесів, що мають різний фізичний зміст, але описуються однаковими масштабними співвідношеннями.

Математична модель складається на основі формалізованої схеми явища, що досліджується. Екологічна система, що моделюється математичними методами, включає такі ознаки:

- наявність значної кількості взаємопов'язаних і взаємодіючих елементів;

- взаємодія з зовнішнім середовищем;

- можливість розкладу системи на підсистеми;

- багатofакторність мети та завдань;

- можливість керування інформаційними потоками в системі.

Умовно моделі екологічних систем діляться на три типи.

Перший тип моделі - базується на фундаментальних законах світу (закони збереження енергії, маси, кількості руху, трансформації). При цій моделі відбираються найбільш суттєві закони для конкретного об'єкта та записуються в формалізованому вигляді, вирішуються записані рівняння та виконується інтерпретація отриманих результатів.

Прикладом математичної моделі першого типу є диференціальне рівняння, що описує турбулентну дифузію домішок в атмосфері та водному середовищі:

$$\frac{dC}{dt} = K_x \frac{d^2C}{dx^2} - V \frac{dC}{dx} - KC + F(x,t), \quad (3.1)$$

де C - концентрація домішок в об'ємі середовища;

K_x - коефіцієнт одномірної поздовжньої дифузії;

V - середня швидкість потоку в середовищі;

K - коефіцієнт, що характеризує самоочищення середовища;

t - час.

Процес дифузії шкідливих речовин в приземному шарі атмосфери у випадку температурних інверсій та зміни характеристик джерел викидів й для будь-якої місцевості можна описати математичним рівнянням:

$$C(x,y) = \frac{Q}{\pi V G_y G_z} \exp\left[\frac{-y^2}{2G_y^2}\right] \left\{ \exp\left(-\frac{H^2}{2G_z^2}\right) + \exp\left[\frac{(2L-H)^2}{2G_z^2}\right] \right\}, \quad (3.2)$$

де $C(x,y)$ - концентрація шкідливих речовин у приземному шарі атмосфери;

Q - потужність джерела викиду;

V - середня швидкість вітру по висоті;

G_y, G_z - поперечне і стандартне відхилення факела;

H - висота джерела викиду;

L - висота температурної інверсії.

Моделі першого типу мають певні недоліки, що заключаються в значному спрощенні до реальної ситуації, в складності реального образу, за допомогою багатопараметрової моделі та не виключають вплив випадкових факторів.

Другий тип моделі - базується на встановленні закономірностей функціонування екологічних систем шляхом статичного вияву в них взаємозв'язків. Розробка моделі другого типу включає такі етапи: вибір методу статичного аналізу; планування; процес отримання даних про об'єкт дослідження; компоновку даних, що характеризують екологічну систему; алгоритмування та розрахунки за допомогою комп'ютера статистичних співвідношень. Функція може бути описана одночленом, многочленом або рівнянням регресії, а також може бути функцією однієї або багатьох змінних.

Прикладом такої моделі є взаємозв'язок між концентраціями шкідливих забруднювачів атмосфери та метеорологічними умовами, що описується рівнянням регресії

$$\ln C_1 = a + b_1 \ln C_{t+1} + b_2 \ln (T_3 + T_P - T) + b_3 \ln V, \quad (3.3)$$

де C_1 - концентрація забруднюючих речовин;

C_{t+1} - концентрація забруднюючих речовин в наступний день;

T_3 - задана температура повітря;

T_P - розрахункова температура;

T - середньодобова температура оточуючого середовища;

V - швидкість вітру в даний момент;

a - вільний член рівняння регресії;

b_1, b_2, b_3 - коефіцієнти при переміщеннях.

Між величиною радіаційного балансу, що впливає на характер розповсюдження шкідливих викидів в приземному шарі атмосфери, та параметрами метричної інформації цифрової моделі місцевості установлена залежність

$$R = 5487 - 79,8 \phi - 0,29H, \quad \text{МДж/м}^2 \cdot \text{рік}, \quad (3.4)$$

де ϕ - широта місцевості, градуси;

H - абсолютна висота місцевості, м.

Третій тип моделі - імітаційний, що базується на вивченні складної математичної моделі за допомогою експерименту на моделі та обробці експериментальних результатів дослідження.

Основні етапи створення імітаційної моделі:

- формування завдань вивчення екологічної системи та визначення вектора стану системи;

- введення системного часу, що моделює хід часу в екологічній системі, яка досліджується;

- декомпозиція об'єкта дослідження і побудова блочної конструкції імітаційної системи;

- формування законів і гіпотез функціонування екологічної системи в цілому і по блоках;

- розробка програми для блокових складових;

- верифікація блоків за даними дослідження;

- об'єднання блоків на базі стандартного або спеціально розробленого математичного забезпечення;

- верифікація моделі в цілому і перевірка її адекватності з врахуванням експертної оцінки спеціаліста-еколога;

- планування математичних експериментів;

- обробка й аналіз результатів чисельного експерименту.

Результати моделювання на основі інформаційних даних з інвентаризації викидів шкідливих речовин використовуються для оцінювання якості повітряного басейну при проектуванні населених пунктів й мікрорайонів та реконструкції сформованих житлово-промислових комплексів. Критерієм якості повітряного басейну є не перевищення фактичних його параметрів нормативів гранично-допустимих викидів забруднюючих речовин й шкідливого впливу фізичних та біологічних факторів.

Для кожного діючого і того, що проектується, підприємства встановлюються гранично-допустимі концентрації викидів забруднюючих речовин й значення шкідливого впливу фізичних й біологічних факторів.

Гранично-допустима концентрація (ГДК) - це максимальна концентрація домішок в атмосфері, що віднесена до певного часу усереднення, яка при періодичній дії чи протягом всього життя людини не справляє ні на неї, ні на навколишнє середовище в цілому шкідливої дії, включаючи віддалені наслідки.

При визначенні гранично-допустимих викидів забруднюючих речовин враховується їх концентрація в атмосфері, що обумовлена викидами від інших джерел:

$$C + C_{\text{ф}} \leq \text{ГДК}, \quad (3.5)$$

де C - концентрація речовин в атмосферному повітрі від даного джерела, мг/м^3 ;

$C_{\text{ф}}$ - фоновая концентрація забруднюючих речовин, мг/м^3 .

Максимальна разова гранично-допустима концентрація ГДК_{max} - основна характеристика небезпечності шкідливої речовини, що встановлюється для попередження рефлекторних реакцій у людини (відчуття запаху, світла, зміна активності головного мозку) при короткочасній дії атмосферних домішок.

Середньодобова гранично-допустима концентрація (ГДК_{сд}) характеризує загальнотоксичний, канцерогенний, мутагенний та інший вплив речовин на організм людини.

При одночасному вмісті в атмосфері декількох шкідливих речовин однонаправленої дії їх допустимі концентрації повинні задовольняти перівності

$$(C_1/\text{ГДК}_1 + C_2/\text{ГДК}_2 + \dots + C_n/\text{ГДК}_n) \leq 1, \quad (3.6)$$

де C_1, C_2 та C_n - концентрації шкідливих речовин однонаправленої дії в атмосферному повітрі, мг/м^3 ;

ГДК₁, ГДК₂, ГДК_n - відповідні значення гранично-допустимих концентрацій цих речовин, мг/м³.

Значення гранично-допустимих концентрацій шкідливих речовин та аерозолів наведені в табл. 3.1 та 3.2.

Таблиця 3.1 - Гранично-допустимі концентрації шкідливих речовин в атмосферному повітрі населених пунктів

Речовина	Гранично-допустима концентрація, мг/м ³		Клас безпеки
	максимальна разова ГДК _{max}	середньодобова ГДК _{ср}	
Азоту діоксид	0,035	0,04	2
Азоту оксид	0,6	0,06	3
Сірки діоксид	0,5	0,05	3
Сірчана кислота	0,3	0,1	2
Пил нетоксичний	0,5	0,15	3
Оксид вуглецю	3,0	1,0	4
Аміак	0,2	0,04	4
Сірковуглець	0,008	0,008	4
Хлор	0,1	0,03	4
Бензопірен	-	1·10 ⁻⁶	1
Сажа (кіпоть)	0,15	0,05	3
Формальдегід	0,035	0,012	3
Вугільна зола ТЕЦ	0,05	0,02	2

Таблиця 3.2 - Гранично-допустимі концентрації аерозолів

Назва речовини	Величина ГДК, мг/м ³	Клас безпеки
1 Кремнієвмісний пил, який містить 70% та більше металевого пилу діоксиду кремнію	1	3
2 Кремнію карбід	6	4
3 Пил рослинного й тваринного походження		
а) бавовняний, бавовно-паперовий, льняний	2	4
б) мучний, дерев'яний	6	4
4 Сажі чорної промисловості	4	4
5 Силікатний та силікатовмісний пил:		
а) азбест природний та штучний	2	4
б) азбестоцемент	6	4
в) тальк, слюда-флагоніт	4	4
г) скляне й мінеральне волокно	4	4
д) цемент, апатит, глина, крейда	6	4
6 Вуглеводний пил		
а) кокс нартівий, піщаний, сланцевий	6	4
б) алмази природні та штучні	3	4

Значення допустимих рівнів шуму для різних типів приміщень та територій наведені в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 - Допустимі рівні звуків

Типи приміщень та територій	Допустимі рівні звуку, дБ	
	вдень	вночі
Жилі кімнати квартир, спальні, приміщення у дитячих закладах, будинках відпочинку, будинках-інтернатах	40	30
Лікарні (палати, операційні)	35	35
Поліклініки	35	-
Гуртожитки, готелі	45	35
Школи, дитячі заклади, класні приміщення	40	-
Адміністративні будинки	50	-
Ідальні, кафе, ресторани	55	-
Магазини, побутові установи	60	-
Територія житлової забудови, дитячих закладів, поліклінік	55	45
Територія майданчиків відпочинку лікарень	35	-

Допустимі рівні радіаційних параметрів, що регламентовані державними будівельними нормами з урахуванням класифікації об'єктів, наведені в табл. 3.4.

Сполучення шкідливих речовин, що мають однонаправлену сумарну дію:

- а) озон + діоксид азоту + формальдегід;
- б) сірчистий газ + діоксид азоту;
- в) сірчистий газ + аерозоль сірчаної кислоти;
- г) сірчистий газ + фтористий водень.

Гранично-допустимий викид (ГДВ) - максимальний викид шкідливої речовини в атмосферу (т/рік, г/с) від кожного джерела викиду, за кожним інгредієнтом з урахуванням перспективи розвитку підприємства і підсумовування шкідливої дії, фонового забруднення і кліматичних умов місцевості, який при розсіюванні не перевищує в приземному шарі селітебної зони гранично-допустимої концентрації для населених місць, нормативні якості повітря для населення, тваринного й рослинного світів.

Гранично-допустимий викид для одиночного джерела викидів з круглим гирлом при викиді нагрітої газоповітряної суміші визначається за формулою:

$$\text{ГДВ} = (\text{ГДК}-\text{С}_\Phi) \cdot \frac{H^2}{A \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta} \cdot \sqrt[3]{V \Delta T}, \quad (3.7)$$

де H - висота джерела викиду, м;

A - коефіцієнт температурної стратифікації;

F - коефіцієнт, що враховує швидкість осідання шкідливих речовин в атмосфері;

V - витрати газоповітряної суміші;

ΔT - різниця температур газопровідної суміші та навколишнього середовища;

m, n - коефіцієнти, що враховують умови виходу газоповітряної суміші з гирла;

η - коефіцієнт, що враховує рельєф місцевості.

Таблиця 3.4 - Допустимі рівні регламентованих радіаційних параметрів

Групи будівельних об'єктів	Допустимий рівень регламентованого радіаційного параметра		
	Потужність поглиненої дози в приміщенні, МкР/год	Середньорічна еквівалентна рівноважна об'ємна активність радону-222, Бк/м ³	Ефективна питома активність природних радіонуклідів, Бк/кг
1. Побудовані, реконструйовані та капітально відремонтовані об'єкти житлово-цивільного та промислового призначення при введенні їх в експлуатацію	≤ 30	≤ 50	≤ 370
2. Об'єкти житлово-цивільного та промислового або іншого призначення, які введені в експлуатацію до 01.01.1998 року	≤ 50	≤ 50	не нормується
3. Об'єкти промислового та дорожнього призначення, де виключене тривале перебування людей, та будівництво шляхів в межах населених пунктів та зон перспективної забудови	не нормується	не нормується	≤ 740

Перелік шкідливих речовин, що підлягають контролю, визначається на основі інформації про характер викидів і їх величині.

Пріоритетність шкідливих інгредієнтів визначають на основі параметра споживання повітря (ПВ).

Потрібний параметр споживання повітря визначають за формулою:

$$ПВ_{pi} = M_i / ГДК_i \quad (3.8)$$

а реальний параметр споживання повітря за формулою:

$$ПВ_{pi} = M_i / q_i \quad (3.9)$$

де M_i - сумарна кількість викидів i -го інгредієнта;

$ГДК_i$ - гранично-допустима концентрація i -го інгредієнта;

q_i - концентрація, що встановлена за даними спостереження або розрахунками.

Якщо $ПВ_{pi} > ПВ_{pi}$, то концентрація i -го інгредієнта перевищує гранично-допустиму концентрацію і тоді потрібен контроль кількості даної шкідливості в атмосферному повітрі.

Максимальні викиди в атмосферу можна зменшити зміною параметрів викиду, зокрема збільшенням висоти джерела викиду. Ефективним заходом для зменшення забруднення є створення санітарно-захисних зон навколо підприємств з явним перевищенням рівнів шкідливих викидів в атмосферу.

3.3 Прогнозування та розрахунок забруднення атмосферного повітря

3.3.1 Прогнозування рівнів забруднення атмосферного повітря

Прогнозування рівня забруднення атмосферного повітря виконують з метою оцінювання санітарної ситуації та перспективи її розвитку з врахуванням росту промисловості та автотранспорту, що може привести до збільшення об'ємів шкідливих викидів.

Методи прогнозування забруднення атмосферного повітря ґрунтуються на результатах теоретичного і експериментального вивчення закономірностей розповсюдження домішок від їх джерел. Найбільш універсальний напрямок, що дозволяє досліджувати розповсюдження домішок від джерел різного типу і при різних характеристиках повітряного басейну, базується на розробці теорії атмосферної дифузії. Другий напрямок базується на емпірично-статистичному аналізі розповсюдження забруднюючих речовин в атмосфері за допомогою інтерполяційних моделей гаусівського типу.

На основі закону збереження маси при переносі речовин з врахуванням розсіювання, молекулярної та турбулентної дифузії й біохімічного самоочищення для прогнозу забруднення атмосферного повітря як вихідне з припущеннями, що процес поперечної та поздовжньої дифузії є стаціонарним і сумарне поле концентрації визначається за принципом суперпозиції, використовується рівняння

$$\frac{dC}{dt} = \text{div}[CV + (M+D)\text{grad } C] + a C_i \quad (3.10)$$

де C - концентрація забруднюючих речовин незмінних в часі t ;

C_i - концентрація забруднюючих речовин змінних в часі t ;

V - швидкість переміщення атмосферного повітря;

M - коефіцієнт молекулярної дифузії;

D - коефіцієнт турбулентної дифузії;

a - коефіцієнт, що враховує біохімічні процеси при самоочищенні.

Забруднення атмосферного повітря можна визначити за допомогою рівняння дифузії, яке має вигляд:

$$V_x \frac{dC}{dx} + V_y \frac{dC}{dy} + V_z \frac{dC}{dz} = D_x \frac{d^2C}{dx^2} + D_y \frac{d^2C}{dy^2} + D_z \frac{d^2C}{dz^2}, \quad (3.11)$$

де **C** - концентрація домішок в атмосфері;

V_x, **V_y**, **V_z** - проекції швидкості вітру на вибрані координатні осі;

D_x, **D_y**, **D_z** - коефіцієнти дифузії по тих же осях.

Рішення рівняння дифузії (2.21) зводиться до розв'язання інтегральних рівнянь:

$$\iint_{S_x} [C''(x) - V_x / D_x \cdot C'(x) + K_x^2 C(x)] dx^2 = 0, \quad (3.12)$$

$$\iint_{S_y} [C''(y) - V_y / D_y \cdot C'(y) + K_y^2 C(y)] dy^2 = 0, \quad (3.13)$$

$$\iint_{S_z} [C''(z) - V_z / D_z \cdot C'(z) + K_z^2 C(z)] dz^2 = 0, \quad (3.14)$$

де **K_x**, **K_y**, **K_z** - змінні параметри, що визначаються за результатами експериментальних спостережень в конкретних умовах.

Процес надходження радіонуклідів радону-222 в повітря приміщень внаслідок ексхалції через захисні конструкції будівель при радіоактивному розпаді радіо-226 описується рівнянням:

$$C_0(t) = \left[\frac{\sum q_i S_i}{W(\lambda_0 + \lambda_v)} + \frac{C_0^a \lambda_v}{(\lambda_0 + \lambda_v)} \right] \{1 - \exp[-(\lambda_0 + \lambda_v)t]\} + C_0(0) \exp[-(\lambda_0 + \lambda_v)t], \quad (3.15)$$

де **q_i** - швидкість ексхалції радону через захисні конструкції будівлі, що мають площу **S_i**;

W - об'єм приміщення;

λ₀ - постійна розпаду радону;

λ_v - кратність повітрообміну в приміщенні;

C₀(0) - об'ємна активність радону в приміщенні при **t=0**;

C₀^a - об'ємна активність радону в атмосферному повітрі.

Октавні рівні тиску в точці на прилеглий території від джерела шуму визначаються за формулою:

$$L = L_d - \Delta L_d - 20 \lg d - \beta d / 1000 + \delta - 8 \text{ дБ}, \quad (3.16)$$

де L_d - октавні рівні звукової потужності джерела шуму;

ΔL_d - сумарне зниження рівнів звукової потужності на шляху розповсюдження шуму d ;

β - коефіцієнт, що враховує затухання звуку в атмосфері;

δ - поправка, що враховує розташування розрахункової точки відносно осі випромінюваного шуму елемента установки.

3.3.2 Розрахунок забруднення атмосферного повітря транспортними засобами

Вихідними даними для розрахунків є склад транспортних засобів, річний пробіг транспортом кожної групи, технічний стан і середній вік транспорту та питомі викиди шкідливих речовин.

Маса викинутої в атмосферу за рік шкідливої j -ої речовини при наявності в групі транспортних засобів з різними типами двигунів внутрішнього згорання визначається за формулою:

$$G_j = \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K q_{jik} I_{ik} K_{BT} \quad \text{т/рік}, \quad (3.17)$$

де i - число груп транспортних засобів;

q_{jik} - питомий викид j -ої шкідливої речовини транспортним засобом i -ої групи з двигуном k -го типу за розрахунковий період, г/км; (табл. 3.5);

I_{ik} - пробіг транспортного засобу i -ої групи з двигуном k -го типу за розрахунковий період, км;

K_{BT} - коефіцієнт впливу технічного стану й середнього віку транспортного засобу на викид j -ої шкідливої речовини транспортним засобом i -ої групи з двигуном k -го типу (табл. 3.6).

Таблиця 3.5 - Питомі викиди шкідливих речовин транспортними засобами

Група транспортних засобів	Питомі викиди, г/км		
	оксидів вуглецю	вуглеводнів	оксидів азоту
Вантажні з бензиновим двигуном	112	27	10
Вантажні з дизельним двигуном	15	6,5	7,5
Вантажні з двигуном на природному газі	27,5	4,5	4,0
Автобуси з бензиновим двигуном	52,0	10	6,4
Автобуси з дизельним двигуном	15,0	6,4	8,5
Легкові	16,5	1,6	2,1

Приклад розрахунку річних викидів шкідливих речовин транспортними засобами наведено в табл. 3.7.

На основі отриманих результатів розрахунку річних викидів шкідливих речовин транспортними засобами розробляються організаційно-технічні заходи для їх зменшення.

Таблиця 3.6 - Коефіцієнт впливу технічного стану й середнього віку на викиди шкідливих речовин

Група транспортних засобів	Коефіцієнт впливу на викиди		
	оксидів вуглецю	вуглеводнів	оксидів азоту
Вантажні з бензиновим двигуном	2,24	2,23	0,8
Вантажні з дизельним двигуном	2,39	2,40	1,0
Автобуси з бензиновим двигуном	2,21	2,23	0,8
Автобуси з дизельним двигуном	2,28	2,34	1,0
Легкові	2,07	2,08	0,9

Таблиця 3.7 - Розрахунок річних викидів шкідливих речовин

Тип транспортних засобів	Кількість, штук	Середній річний пробіг на одиницю, тис.км/рік	Річні викиди, т/рік			
			оксидів вуглецю	вуглеводнів	оксидів азоту	Всього
Вантажні з бензиновим двигуном	8	21,4	42,95	10,31	1,41	54,67
Вантажні з дизельним двигуном	10	24,5	8,78	3,82	1,84	14,44
Автобуси з бензиновим двигуном	2	16,7	3,95	0,77	0,18	4,90
Легкові	4	18,2	2,49	0,24	0,14	2,83
Разом			58,17	15,14	3,57	76,84

3.3.3 Розрахунок викидів забруднюючих речовин при спалюванні палива

Розрахувати викид забруднюючих речовин в районі теплоелектроцентралі цукрового заводу, на якій встановлено 5 котлів ДКВР-10/23-350. Один з котлів є резервним. Паливом є високосірний зольний мазут, що має такі основні характеристики:

- зольність робочої маси $A^P = 0,14\%$;
- вміст сірки в робочій масі $S^P = 3,5\%$;
- нижча теплота згорання $Q_{н}^P = 39,9$ МДж/кг.

Тривалість роботи ТЕЦ під час цукроваріння $T = 67$ діб. Витрати мазуту за цей час $V_p = 4215$ т. Золоуловлювачі на ТЕЦ відсутні.

Максимальні секундні витрати мазуту

$$V_c = (V_p \cdot 10^6) / (T \cdot 86400) = 4215 \cdot 10^6 / (67 \cdot 86400) = 728 \text{ г/с.}$$

Кількість твердих частинок золи, що викидається в атмосферу, визначається за формулою:

$$M_{TP} = B_p A^p f_T (1 - \eta_3) \quad \text{т/рік}, \quad (3.18)$$

де f_T - коефіцієнт враховує долю золи в виносі, $f_T = 0,01$;

η_3 - коефіцієнт корисної дії золоуловлювачів, $\eta_3 = 0$.

Кількість діоксиду сірки, що викидається в атмосферу, визначається за формулою:

$$M_{SO_2}^p = B_p f_{SO_2} S^p (1 - \eta'_{SO_2})(1 - \eta_{SO_2}) \quad \text{т/рік}, \quad (3.19)$$

де η'_{SO_2} - доля оксидів сірки, що зв'язана з летючою золою палива,

$$\eta'_{SO_2} = 0,02;$$

η_{SO_2} - доля оксидів сірки, що вловлюється, $\eta_{SO_2} = 0$;

f_{SO_2} - коефіцієнт, що враховує долю оксидів сірки у виносі, $f_{SO_2} = 0,02$.

Кількість оксидів вуглецю, що викидається в атмосферу, визначається за формулою:

$$M_{CO_2} = B_p \cdot f_{CO_2} \cdot Q_H^p K_{CO} (1 - q_4/100) \quad \text{т/рік}, \quad (3.20)$$

де f_{CO_2} - коефіцієнт, що враховує долю оксидів вуглецю у виносі,

$$f_{CO_2} = 0,001;$$

q_4 - втрати теплоти з виносом від механічної неповноти згорання, $q_4 = 0$;

K_{CO} - вихід оксиду вуглецю при спалюванні 1 т мазуту, що визначається за формулою:

$$K_{CO} = q_3 R Q_H^p \quad \text{кг/т}, \quad (3.21)$$

де q_3 - втрати теплоти від хімічної неповноти згорання, $q_3 = 0,4\%$;

R - коефіцієнт, що враховує долю втрати теплоти внаслідок хімічної неповноти згорання, $R = 0,65$.

Кількість оксидів азоту, що викидаються в атмосферу, визначається за формулою:

$$M_{NO_2}^p = B_p \cdot f_{NO_2} \cdot Q_H^p K_{NO_2} (1 - \beta) \quad \text{т/рік}, \quad (3.22)$$

де f_{NO_2} - коефіцієнт, що враховує долю оксидів азоту у виносі,

$$f_{NO_2} = 0,001;$$

K_{NO_2} - питомі викиди оксидів азоту на 1 гДж тепла при номінальному навантаженні котла, $K_{NO_2} = 0,115$;

β - коефіцієнт, що враховує ступінь викидів за рахунок технічних заходів, $\beta = 0$.

Результати розрахунків викидів забруднюючих речовин при спалюванні мазуту $B_p = 4215$ т/рік наведені в табл. 3.8.

Таблиця 3.8 - Викиди забруднюючих речовин ТЕЦ

Назва викидів	Кількість викидів	
	річних, т/рік	секундних, г/с
Зола	5,9	1,02
Діоксид сірки	289,0	49,94
Оксиди вуглецю	53,8	7,55
Оксиди азоту	19,3	3,11

3.3.4 Розрахунок максимальних концентрацій шкідливих речовин від джерела викиду в атмосферу

Джерело викиду.- труба ТЕЦ, паливом якої є високосірний зольний мазут. Шкідливими викидами є зола, оксиди сірки, оксиди вуглецю та оксиди азоту, величини яких наведені в табл. 3.8.

Характеристика джерела викиду:

- висота димової труби $H = 65$ м;
- діаметр гирла труби $D = 3,2$ м;
- температура викиду $T_{ВХ} = 170^{\circ}\text{C}$;
- температура оточуючого середовища $T_n = +18,7^{\circ}\text{C}$;
- об'єм димових газів на 1 кг мазуту $V_T = 16$ м³/кг.

Температура газів на виході із труби з врахуванням оточуючого охолодження обчислюється за формулою:

$$T = T_{ВХ} - 0,4H / \sqrt{D}, \quad (3.23)$$

де $T_{ВХ}$ - температура викиду, $^{\circ}\text{C}$;

H - висота димової труби, м;

D - діаметр гирла труби, м.

$$T = 170 - 0,4 \cdot 65 / \sqrt{3,2} = 155^{\circ}\text{C}.$$

Секундні витрати димових газів з труби

$$V_C = V_T V_C - (T+273)/273 \cdot 1013/P \text{ м}^3/\text{с}, \quad (3.24)$$

де V_C - секундні витрати мазуту (0,728 кг/с);

P - барометричний тиск (987 Па).

$$V_C = 16 \cdot 0,728 (155+273)/273 \cdot 1013/987 = 18,7 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Швидкість димових газів при виході з труби

$$W = 4V_C/(\pi D^2) = 4 \cdot 18,7/(3,14 \cdot 3,2^2) = 2,32 \text{ м/с}.$$

Максимальна приземна концентрація шкідливих викидів

$$C_{\text{мі}} = \frac{AM_i F_{\text{мн}} \eta}{H^2 \sqrt[3]{V_C \Delta T}} \text{ мг/м}^3, \quad (3.25)$$

де A - коефіцієнт, що залежить від температурної стратифікації атмосфери (180...200);

M_i - кількість i -ої шкідливої речовини в викиді в атмосферу, г/с;

H - висота джерела викиду, м;

V_c - секундні витрати димових газів, м/с;

ΔT - різниця температури викиду і зовнішнього повітря,

$$\Delta T = T - T_{\text{п}} = 155 - 18,7 = 136,3^{\circ}\text{C} ;$$

η - безрозмірний коефіцієнт, що враховує рельєф місцевості (для рівнинного $\eta = 0$);

F - безрозмірний коефіцієнт, що враховує швидкість осідання шкідливих речовин в атмосфері (для газоподібних речовин $F = 1,0$; для дрібнодисперсних аерозолей при очищенні 90% викидів $F = 2,0$);

m, n - коефіцієнти, що враховують умови виходу газоповітряної суміші з гирла джерела викиду.

Коефіцієнт m визначається в залежності від параметра, величину якого установлюють із співвідношення:

$$f = 1000 \frac{W_a^2 D}{H^2 \Delta T} , \quad (3.26)$$

за формулою

$$m = 1 / (0,67 + 0,1 \sqrt{f} + 0,34 \sqrt[3]{f}) . \quad (3.27)$$

Коефіцієнт n визначається в залежності від параметрів f та V_m , величину останнього визначають за формулою:

$$V_m = 0,65 \sqrt[3]{\frac{V_c \Delta T}{H}} . \quad (3.28)$$

Якщо параметр $f < 100$, а $V_m \geq 2$, то коефіцієнт $n = 1,0$.

При $0,5 \leq V_m < 2$ параметр n обчислюється за формулою:

$$n = 0,532 V_m^2 - 2,13 V_m + 3,15 \quad (3.29)$$

При $V_m < 0,5$ параметр $n = 4,4 V_m$.

Результати розрахунків максимальних концентрацій шкідливих речовин від джерела викиду, яким є труба ТЕЦ, наведені в табл. 3.9.

Таблиця 3.9 - Максимальні концентрації шкідливих речовин

Назва викидів	Фонова концентрація, мг/м ³	Концентрація викидів, мг/м ³	Сумарна концентрація, мг/м ³
Зола	0,2	0,18	0,38
Оксиди сірки	0,1	0,15	0,25
Оксиди вуглецю	0,15	0,20	0,35
Оксиди азоту	0,03	0,02	0,05

Відстань від джерела викиду до місця знаходження максимальної концентрації шкідливих викидів при несприятливих метеоумовах визначається за формулою:

$$X_m = \alpha H, \quad (3.30)$$

де α - безрозмірний коефіцієнт при $V_m > 2,0$ визначається за формулою:

$$\alpha = 7 \sqrt{V_m} (1 + 0,28 \cdot \sqrt[3]{f}). \quad (3.31)$$

Значення небезпечної швидкості вітру, при якій будуть найбільші значення приземної концентрації в атмосфері при $V_m > 2,0$, визначається за формулою:

$$U_m = V_m (1 + 0,18 \sqrt{f}). \quad (3.32)$$

3.4 Економічний механізм забезпечення моніторингу атмосферного повітря

Величина платежів за викиди в атмосферу забруднюючих речовин стаціонарними джерелами забруднення визначається за формулою:

$$P_{AC} = \sum_{i=1}^n [(H_{iЛ} \cdot M_{iЛ}) + (K_{Л} H_{iЛ} M_{iП})] \cdot K_T, \quad (3.33)$$

де $H_{iЛ}$ - норматив платежів за викиди в атмосферу 1 тонни i -ої забруднюючої речовини в межах ліміту, грн/т; ($NO_2 = 80$ грн/т, $CO = 3$ грн/т, $SO_2 = 3$ грн/т, пил = 3 грн/т);

$M_{iЛ}$ - маса річного викиду i -ої забруднюючої речовини в атмосферу в межах ліміту, т;

$K_{Л}$ - коефіцієнт кратності плати за понад лімітний викид в атмосферу забруднюючих речовин, який встановлюється місцевими органами влади ($K_{Л} = 2 \dots 5$);

$M_{iП}$ - маса понадлімітного річного вкладу в атмосферу забруднюючої речовини, т;

K_T - коефіцієнт, що враховує територіальні екологічні та соціально-економічні особливості:

$$K_T = K_{НАС} \cdot K_{Ф}, \quad (3.34)$$

де $K_{НАС}$ - коефіцієнт, що залежить від чисельності населення міста (1,0...1,2);

$K_{Ф}$ - коефіцієнт, що враховує народногосподарське значення міста (0,60; 1,25; 1,65).

Величина платежів за викиди в атмосферу забруднюючих речовин пересувними джерелами забруднення визначається за формулою:

$$P_T = \sum_{i=1}^n (H_i M_i) K_T, \quad (3.35)$$

де H_i - норматив платежів за викид забруднюючих речовин, що утворюються в результаті спалення 1 тонни i -го палива, грн/т (дизельне паливо $H_d = 0,3$ грн/т, бензин едильований $H_b = 0,4$ грн/т);

M_i - річний об'єм використаного пального i -го викиду, т;

K_T - коефіцієнт, що враховує територіальні екологічні особливості ($K_T = 1,0 \dots 4,0$).

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ДЛЯ ПЕРЕВІРКИ ЗНАТЬ

1. Задачі й принципи управління в системі моніторингу атмосферного повітря.
2. Правові основи моніторингу атмосферного повітря.
3. Методи моделювання якості повітряного басейну.
4. Нормування й контроль за забрудненням атмосферного повітря.
5. Прогнозування рівнів забруднення атмосферного повітря.
6. Розрахунок забруднення атмосферного повітря транспортними засобами.
7. Розрахунок викидів забруднюючих речовин при спалюванні палива.
8. Розрахунок максимальних концентрацій шкідливих речовин від джерела викиду.
9. Розрахунок економічних показників ефективності моніторингу атмосферного повітря.

4 МОНІТОРИНГ ГІДРОСФЕРИ

4.1 Характеристика водних об'єктів

Гідросфера – це сукупність води, що зосереджена у Світовому океані, на поверхні суші, у підземних водоносних горизонтах, у снігах і льодовиках, атмосфері та живих організмах. Всі природні води взаємопов'язані між собою кругообігом води в природі.

Води Світового океану вкривають 70,8% поверхні планети, утворюючи практично безперервну водну поверхню. Цю поверхню поділяють на Тихий, Атлантичний, Індійський і Північний Льодовитий океани. В прибережних частинах океану можна виділити: моря, затоки, протоки та ін.

Морями називають відокремлені частини океанів, що характеризуються специфічними гідрологічними і кліматичними особливостями. За розташуванням моря виділяють зовнішні, серединні та внутрішні. Зовнішні моря умовно відокремлені від океану витягнутими ланцюгами островів або значними півостровами. Серединні моря розміщені між двома материками. Внутрішні моря розташовані в глибині материків.

Поверхневі води суші утворюють поверхневий стік, який поділяють на схильний та русловий. Русловий стік часто іменують річковим стоком. Схильний стік виникає внаслідок стікання дощової або талої води по поверхні літосфери у вигляді міриад струмочків. Русловий стік утворюється при злитті струмків схилового стоку і підсилюється за рахунок виходів на поверхню підземних вод. Загальний об'єм стоку води із суші у Світовий океан оцінюється в 41...47 тис. км³ за рік. Повний річковий стік становить 38,8 тис. км³, а його поверхнева складова досягає 27 тис. км³ за рік. Поверхневий стік є нестійким, тимчасовим, паводковим та часто катастрофічним (рис. 3.1). Він на планеті розподілений вкрай нерівномірно, включаючи безстічні території.

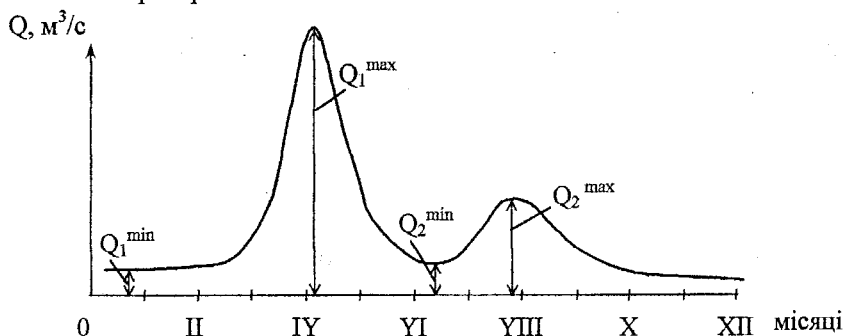


Рисунок 4.1 – Гідрограф річкового стоку:
 Q_1^{\min} та Q_2^{\min} - зимові та літні меженні витрати;
 Q_1^{\max} та Q_2^{\max} - весняні та літні паводкові витрати

Річка – це природний водотік, що протікає по руслу постійно або з перервами в період сухих сезонів. Кожна річка характеризується довжиною, шириною й глибиною русла, його падінням, площею й характером водозбору, швидкістю течії, витратами води, твердим й хімічним стоком. Місце, де починається річка, називають виток. Витоком можуть бути джерела, озера, болота, льодовики та злиття окремих струмків або річок. Місце впадання річки в море, озеро або іншу річку називають гирлом.

Річку, що впадає в іншу, називають притокою, а річка, в яку вона впадає іменують головною рікою. Головна річка з усіма її притоками утворює річкову систему (рис. 4.2).

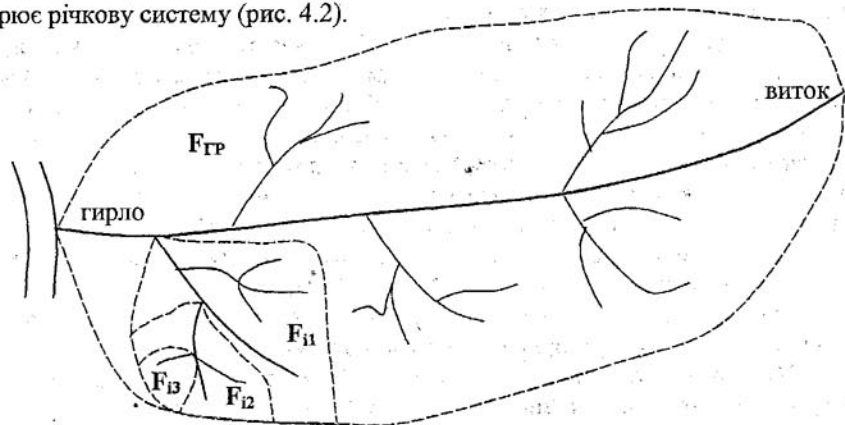


Рисунок 4.2 – Річкова система: $F_{ГР}$ - площа водозбору головної ріки;
 F_{I1} - площа водозбору притоки першого порядку;
 F_{I2}, F_{I3} - площа приток другого, третього і т.д. порядку

Площа, з якої вода збирається у притоки, звідки вона потрапляє в головну річку, називається водозбором або басейном ріки. Річкові басейни відокремлюються один від одного вододілами, якими є підвищення в рельєфі. Водозбір характеризується лісистістю, заболоченістю, висотою, ступенем господарської діяльності. За розмірами площі водозбору та витратами річки поділяють на великі, середні та малі. Великі річки мають площу водозбору більше $50\,000\text{ км}^2$ та витрати води більше $100\text{ м}^3/\text{с}$. До середніх річок належать річки з площею водозбору $2\,000\text{...}50\,000\text{ км}^2$ та з витратами води $5\text{...}100\text{ м}^3/\text{с}$.

Гідрографічна мережа – це сукупність річок, струмків, каналів, природних й штучних водойм на певній території. Вона характеризується густотою – відношенням загальної довжини всіх річок та їх приток, що протікають на даній території, до площі цієї території. В Україні, при середній густоті річкової мережі $0,24\text{ км}/\text{км}^2$, у Карпатах вона становить понад $1,0$; на Поліссі – $0,20$; у Степовому Криму – $0,10\text{ км}/\text{км}^2$, а в нижній течії Дніпра падає до нуля.

Живлення річок відбувається поверхневими і підземними водами, що надходять з її водозбору. Розрізняють залежно від переважного значення чотири основних типи живлення річок: дощове, снігове, льодовикове та підземне. Для основних річок України характерне змішане живлення. В залежності від переважаючого типу живлення формується гідрологічний режим річки: літня та зимова межень, весняна повінь та паводки. Для річок України також характерним є льодостав – суцільний крижаний покрив річки та весняний льодохід.

Річкові потоки ведуть значну руйнівну ерозійну роботу та транспортують частини зруйнованих порід в гирло. При цьому вони утворюють конуси виносу, що формують дельту ріки. Розрізняють бокову і глибинну ерозію. Для бокової ерозії характерне підмивання берегів, яке відбувається внаслідок меандрування русла ріки. Глибинна ерозія призводить до врізання русла водотоку. Твердим стоком називають весь твердий матеріал, що переноситься річками. Твердий стік поділяють на завислі речовини та придонний стік. Кількість завислих речовин визначає мутність річки. Величина твердого стоку залежить від швидкості течії річки. В горах поверхневий змив становить понад 2 500 т/км², на височинах – 20...100 т/км², а у межах низовинних рівнин – менше 5 т/км².

Поверхневі води внаслідок руху по схилах водозборів розчиняють різноманітні сполуки, утворюючи природні розчини.

Хімічний стік річок – це кількість хімічних елементів, що надходить в річку при їх розчиненні на водозборах та з атмосферними опадами. Так, Дунай за рік виносить у Чорне море залежно від водності 33...64 млн. т солей та 1,0...3,9 млн. т біогенних речовин. Суттєвий вплив в утворенні річкових гідрохімічних аномалій відіграє господарська діяльність, а саме скидання у річки неочищених побутових й промислових стоків та змив з ланів мінеральних добрив й пестицидів. У зонах надмірного зволоження мінералізація річкової води переважно гідрокарбонатно-кальцієва з вмістом 30...40 мг/л. В зонах недостатнього зволоження збільшується вміст в річковій воді сульфатів, хлоридів та нітратів. Разом з поверхневим стоком у водойми надходить значна кількість продуктів життєдіяльності організмів та розпаду органічних залишків. Вони зумовлюють високий хімічний вміст у поверхневих і підземних водах. Це є причиною хімічного вивітряння, карстоутворення тощо. Особливою ефективністю відзначається діяльність мікроорганізмів в анаеробних умовах, що призводить до помітних змін хімічного складу та активності води.

Озера – це заповнені водою замкнені природні заглиблення на поверхні суші. Вони являють собою водойми уповільненого водообміну. Основними рисами їх режиму є вертикальна і горизонтальна неоднорідність та циркуляція води, акумуляція в улоговині твердих матеріалів, характер біоценозів і процес еволюції та відмирання водойми. Кожне озеро складається з улоговини, в якій розміщується водна маса з біоценозом організмів.

В залежності від особливостей формування водного балансу озера поділяють на добре проточні, мало проточні, безстічні, глухі та карстові. За кількістю розчинених у воді хімічних сполук озера бувають прісні (з мінералізацією менше 3%), солонуваті (з мінералізацією 3...25%) й солоні. Прісні озера переважають в зонах з надмірним та достатнім зволоженням. Підвищену мінералізацію мають води озер в зонах нестійкого й недостатнього зволоження. На хімізмі озер позначаються результати антропогенної діяльності.

Болото – це ділянка суші, для якої характерне надмірне зволоження прошарків ґрунту, застійний режим підземних вод та поширення специфічної болотної рослинності. Найважливішим процесом у болотах є торфотворення внаслідок відмирання й перегнивання без доступу повітря рослин під водою з одночасним ущільненням. За потужністю торф'яного горизонту розрізняють власне болота (товщина шару торфу понад 30 см) й заболочені землі. Надмірно зволожені мінеральні ґрунти без торф'яного горизонту називають перезволоженими землями.

Суттєва роль у формуванні боліт належить нерозважливій господарській діяльності людини. В Україні загальний меліоративний фонд, тобто сукупність боліт, заболочених й перезволожених земель, становить 6 млн. га. Основна частина меліоративного фонду припадає на Полісся.

Підземні води – це води, що знаходяться нижче рівня земної поверхні в товщах гірських порід верхньої частини земної кори. Вони не є суцільними потоками на зразок річок, струмків чи озер. Підземні води просочуються крізь тріщини між частинками гірських порід. Насичуючи тріщини, порожнини в тріщинах гірських порід, підземні води знаходяться у рідкому, твердому чи газоподібному агрегатному стані.

У товщі літосфери виділяють такі види води: хімічно зв'язану, фізично зв'язану, пароподібну, у твердому стані, капілярну та гравітаційну.

В залежності від характеру взаємин з підземними водами гірські породи поділяються на водопроникні, водонепроникні та розчинні. Водопроникні породи здатні пропускати через себе воду. Ці породи бувають невологовмісні (піски, галька, тріщинуваті граніти тощо) та вологовмісні (торф, мул, крейда). Водоносним горизонтом називають шар водопроникних порід насичений водою, що фільтрується по тріщинах. Водонепроникні породи за умовами фільтрації є водотривкими горизонтами. На них накопичується вода, яка не проникає в глиб літосфери, і на них утримуються розташовані вище водоносні горизонти. Розчинні породи здатні утворювати порожнини, що розширюються під дією води. Такими породами є різні солі (калійна, кухонна); гіпси та карбонатні породи (вапняки, доломіти). Значні за розмірами порожнини утворюють підземні карстові печери.

За умовами залягання підземні води розрізняють на ґрунтові, верховодні, підґрунтові та міжпластові. Ґрунтові води, що насичують верхню частину літосфери, утворюються внаслідок інфільтрації атмосферних опадів у ґрунтовий шар та частково поповнюються за рахунок конденсації во-

дяної пари та капілярного всмоктування з нижчих водоносних горизонтів. Їх накопичення у ґрунтовому горизонті призводить до заболочування місцевості, а в умовах посушливого клімату через інтенсивне випаровування є причиною засолювання ґрунтів.

Верховодними водами називають підземні водоносні горизонти, що залягають на глибинах 2...10 м та мають через затримання інфільтраційних потоків води на обмежених ділянках незначне поширення по площині. Потужність насичених верховодних порід становить 0,4...1,0 м і вони мають постійний гідравлічний зв'язок з річками та водоймами. Якість води невисока і часто містить забруднювачі. Верховодна вода є причиною підтоплення фундаментів і підвалів споруд.

Підґрунтові води – це перший від поверхні постійно існуючий водоносний горизонт, що розташований на значному за площею водотривкому шарі глибиною до 100 м. Їх живлення здійснюється за рахунок інфільтрації атмосферних опадів, фільтрації з річок, каналів та водойм і конденсації водяної пари у зоні аерації. Підґрунтові води безнапірні, їх глибина залягання, температура, мінералізація та витрата є змінними в часі.

Міжпластові води залягають у водопрониклих шарах, що зверху і знизу затиснуті між пластами водотривких порід. Вони завжди мають природний напір. Геологічні структури, в межах яких розташовані міжпластові води, називають артезіанськими водами. Їх режим є стабільним, тому вони вважаються найважливішим джерелом водопостачання.

4.2 Водні ресурси та їх використання

Запаси води на Землі становлять 1,39 млрд. км³, але 96,5% їх загального об'єму, що припадає на океан і моря, є гірко-солоними і непридатними для життя та технологічного використання. Маса прісної води планети досягає 35 млн. м³, причому 80% її запасів зосереджено в унікальному озері Байкал. Основним джерелом водопостачання людства є річковий стік. Щорічно на господарські потреби витрачається приблизно 13% його об'єму, з якого у водойми повертається понад 600 км³ забруднених стоків.

В Україні протікає понад 22 тисячі річок, з яких 3,5 тисячі мають довжину понад 10 км. Середня густина річкової мережі становить 0,25 км/км². Сумарний річковий стік України без Дунаю в середній за водністю рік досягає 3,5 км³ і зменшується до 55,9 км³ у маловодні роки. Доля місцевого стоку становить відповідно 52,4 та 29,7 км³, а решта надходить транзитом з інших держав. З метою регулювання річкового стоку побудовано понад 1000 водосховищ загальним об'ємом 55,1 км³, включаючи шість великих водосховищ на Дніпрі. Побудовано також близько 28 тисяч ставків, 7 великих каналів довжиною близько 2000 км, а також 10 водоводів великого діаметра. Забір поверхневих вод в Україні складає близько 60% місцевого стоку і нерівномірний в басейнах річок (рис. 4.3).

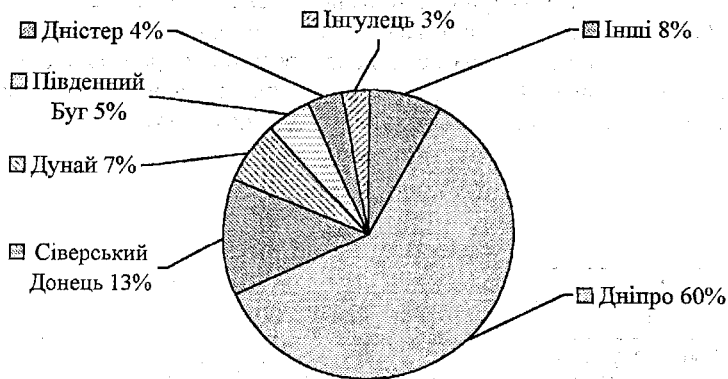


Рисунок 4.3 - Забір поверхневих вод в басейнах річок України

В прісних озерах України знаходиться $2,3 \text{ км}^3$ води, в солоних озерах і лиманах – $8,6 \text{ км}^3$, а в болотах – близько 30 км^3 .

В Україні підземні води поширені по всій території і мають прогнозовані запаси $20,9 \text{ км}^3$. Близько 70% населених пунктів користуються водою підземних горизонтів і майже 100% сільських населених пунктів задовольняють свої потреби за рахунок підґрунтових вод або глибинних водоносних горизонтів.

Галузі господарства по відношенню до водних ресурсів поділяють на водоспоживачів та водокористувачів. Водоспоживачі забирають воду з гідросфери для використання у виробництві промислової та сільськогосподарської продукції і задоволення побутових потреб населення, а потім повертають у докільця в меншій кількості та з іншими якісними характеристиками. Водокористувачі воду з гідросфери не забирають, а використовують її як середовище (транспорт, рибальство, спорт тощо) або як джерело енергії (гідроелектростанції). Вони також можуть змінювати якість води та гідрологічний режим. Структурна схема використання водних ресурсів наведена на рис. 4.4.

В нашій державі водомісткість валового національного продукту у кілька разів перевищує аналогічні показники інших країн Європи. Значна кількість підприємств використовує води у 2...10 разів більше, ніж необхідно за технологією. Причиною цього є застарілі технології, не налагоджений облік води, відсутність повторного використання води та оборотних систем. До 50% води питної якості використовується на технологічні потреби. Тоді як близько 90% потреби можна задовольнити за рахунок повторного використання води в системах комунального та промислового водозабезпечення.

Втрати води при транспортуванні перевищують 10...20%. Всього понад 70% населення України забезпеченні централізованим водопостачанням. До 10% досліджуваних проб з водопровідних мереж не відповідає гігієнічним нормативам. Стан водопровідних очисних споруд та технології підготовки питної води не відповідають сьогоденним вимогам.

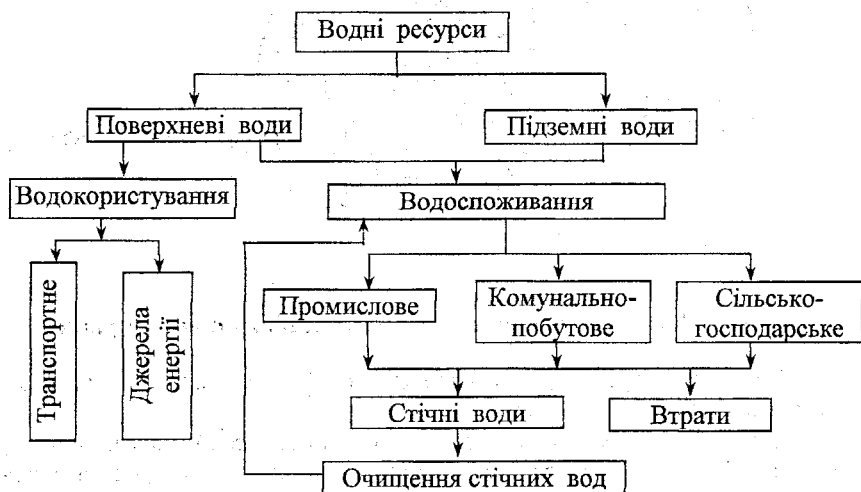


Рисунок 4.4 – Структурна схема використання водних ресурсів

В Україні щорічно використовується близько 30 км³ води. Головними водокористувачами є сільське та комунальне господарство, енергетика та металургія (рис. 4.5).

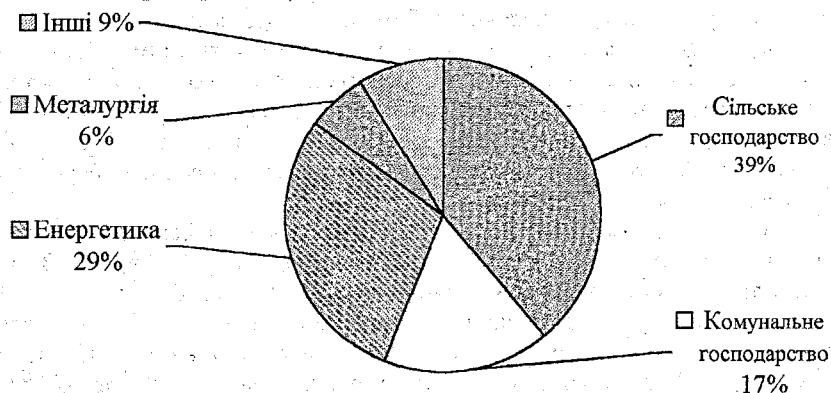


Рисунок 4.5 – Структура використання води галузями господарства України

4.3 Загальні аспекти забруднення гідросфери

Інтенсивне використання людством водних ресурсів призводить до значних кількісних та якісних змін гідросфери. Кількісні зміни зумовлені зміною кількості води, що придатна для господарського споживання, водного балансу та режиму річок. Якісні зміни відбуваються внаслідок скидання в гідросферу промислових, господарсько-побутових та сільськогосподарських стоків.

Забруднюючі речовини у водні об'єкти потрапляють такими шляхами:

- зі стічними водами промислових і сільськогосподарських підприємств та населених пунктів;
- від водного транспорту і споруд на берегах;
- з дощовими і талими водами, що змивають з земної поверхні побутовий бруд, нафтопродукти, добрива, отрутохімікати тощо;
- з атмосферними опадами, в яких містяться розчинені забруднювачі викидів в атмосферне повітря.

Забруднення гідросфери – це зміни якості води у порівнянні з її природним станом та нормами якості води за видами водокористування, що спричинені господарською діяльністю, і роблять воду частково або повністю непридатною для використання за цільовим призначенням.

Забруднюючі речовини гідросфери поділяють на мінеральні, органічні та біологічні. До мінеральних забруднювачів відносяться пісок, глина, шлаки, зола, розчини та емульсії солей, кислот та лугів, радіоактивні сполуки. Органічними забруднювачами є речовини тваринного та рослинного походження, смоли, феноли, спирти, фарбники, альдегіди тощо. До біологічних забруднювачів відносяться патогенні бактерії, віруси та збудники інфекцій.

Розрізняють три види забруднення вод: фізичне, хімічне та біологічне.

Фізичне забруднення води обумовлено зміною її фізичних властивостей, а саме вмісту мінеральних та інших нерозчинених домішок, прозорості, температури та радіоактивних речовин. Суспензії піску, намулу, глинистих частинок потрапляють у водойми за рахунок поверхневого змиву дощовими й талими водами на водозбірній площі. Пил потрапляє у водойми з сильними вітрами. Тверді частинки знижують прозорість води і погіршують її смакові якості та пригнічують процеси фотосинтезу водних рослин. Теплове забруднення водойм спричиняється скидами у водойми теплих вод від різних енергетичних установок. Атомні і теплові електростанції скидають у водойми 30...50% теплової енергії, що виробляється. Теплове забруднення істотно змінює термічний та біологічний режим водойм.

Хімічне забруднення відбувається в результаті надходження в гідросферу різних шкідливих домішок неорганічного (кислоти, луги, мінеральні солі) та органічного (нафта й нафтопродукти, органічні сполуки, миючі засоби, пестициди) походження. Більшість з них є токсичними для ор-

ганізмів водойм та населення. Хімічні речовини акумулюються рослинами й тваринами, які є продуктами харчування. Основними джерелами хімічного забруднення є доменне та сталеливарне виробництво, підприємства гірничодобувної, металургійної, целюлозно-паперової та нафтопереробної промисловості й екстенсивне сільське господарство.

Біологічне забруднення відбувається внаслідок надходження у гідросферу із стічними водами різних видів мікроорганізмів, рослин і тварин. Значна кількість з них є хвороботворними для людей, тварин і рослин. Біологічне забруднення призводить до епідеміологічних захворювань. Головними джерелами біологічного забруднення є комунально-побутові стоки, харчові відходи, стічні води підприємств харчової, целюлозно-паперової та хімічної промисловості. Особливо шкідливим є біологічне забруднення водойм у місцях масового відпочинку людей. Однією з причин біологічного забруднення є будівництво каскадів водосховищ на річках, що у декілька разів зменшує природну швидкість водообміну.

Надмірне забруднення об'єктів гідросфери в Україні веде до деградації водних екосистем. Основні причини забруднення такі:

- скид неочищених та недостатньо очищених промислових і комунально-побутових стічних вод безпосередньо у водні об'єкти та через системи міської каналізації;

- надходження у водні об'єкти забруднюючих речовин з поверхневим стоком із сільськогосподарських угідь та забудованих територій;

- ерозія ґрунтів на водозбірній площі внаслідок антропогенної діяльності.

Технологічні навантаження на природне середовище в цілому та на водні ресурси зокрема досягли значних масштабів. У зв'язку з цим збільшуються ризики виникнення надзвичайних екологічних ситуацій та природно-техногенних катастроф. Структурна модель техногенного навантаження на водні ресурси України наведено на рис. 4.6.

У басейні Дніпра, ресурси якого становлять близько 80% водних ресурсів України та забезпечують водою 32 млн. населення та біля 70% господарського потенціалу держави, очищення стічних вод до нормативних концентрацій забезпечується тільки на 25%. Значної шкоди завдано водним ресурсам внаслідок катастрофи на Чорнобильській АЕС. На території басейнів Прип'яті та Дніпра зосереджено близько 450 тис. Кі цезію-137 та майже 70 тис. Кі стронцію-90. В критичному стані перебувають малі річки, в які скидається 15% стічних вод у басейні. Внаслідок цього вони втратили природну здатність до самоочищення.

У басейні річки Південний Буг в межах Вінницької області забір води становить 1,00...1,60 млн. м³ щорічно. Основними споживачами води є Ладижинська ДРЕС та ВО "Вінницяводоканал". При загальному щорічному водовідведенню 900...1400 млн. м³ скид забруднених вод досягає 29 млн. м³. Допускаються аварійні скиди, що наносять збитки державі через забруднення поверхневих вод. Спостерігається наявність забруднення

підземних вод під впливом фільтрації забруднених стічних вод з полів фільтрації та накопичувачів.

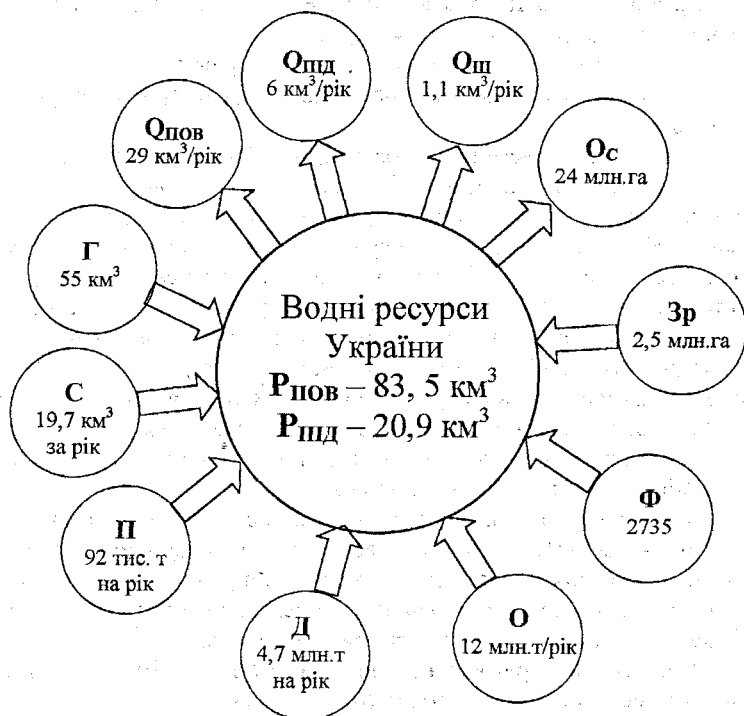


Рисунок 4.6 – Структурна модель техногенного навантаження на водні ресурси України:

- $Q_{пов}$ - ресурси поверхневих вод, середній багаторічний стік;
- $Q_{під}$ - прогнозні ресурси підземних вод, річні витрати;
- $Q_{ш}$ - шахтний і кар'єрний водовідлив, річний об'єм;
- O_c - осушення земель, площа;
- Z_p - зрошування земель, площа;
- Γ - гідротехнічні споруди, об'єм води в водосховищах і ставках;
- C - скид стічних вод, річний об'єм;
- Π - використання пестицидів, кількість за діючою речовиною;
- D - використання добрив, кількість за поживними речовинами;
- O - надходження солей з забрудненими атмосферними опадами, річна кількість;
- Φ - фільтруючі накопичувачі, кількість.

4.4 Організація спостережень за забрудненням водного середовища

Організація та проведення спостережень за забрудненням водного середовища виконується за такими принципами:

- комплексність і систематичність спостережень;
- узгодженість строків їх проведення з характерними гідрологічними ситуаціями;
- визначення показників якості води єдиними методами.

Реалізація цих принципів досягається відповідною програмою контролю за фізичними, хімічними, гідробіологічними та гідрологічними показниками. Контроль передбачає періодичність відбирання проб, їх аналізу за єдиними методиками з необхідною точністю. Мережа гідрохімічних спостережень за забрудненням водного середовища у просторі повинна охоплювати по можливості всі водні об'єкти, що розташовані на території досліджуваного басейну, та всю довжину водотоку або всю акваторію водойми з визначенням впливу найбільших їх приток та скидів зворотних вод. Вона також повинна забезпечувати спостереження в різні за водністю роки та з врахуванням добових змін хімічного складу води і катастрофічних скидів зворотних вод у водні об'єкти.

Моніторинг водного середовища здійснюють в пунктах спостережень, під яким розуміють місце на водотоці чи водоймі, де виконують комплекс польових робіт для отримання даних про якість води. Пункти спостережень бувають стаціонарні, спеціалізовані для вирішення конкретних науково-дослідних задач та тимчасові експедиційні.

Пункти спостереження за кількісними й якісними показниками стану водного середовища організовують у районах:

- розташування міст і крупних селищ, стічні води яких скидаються у водойми та водотоки;
- скиду стічних вод територіально-виробничих комплексів окремо розташованих крупних промислових підприємств та організованого скиду сільськогосподарських стічних вод;
- передгреблевих ділянок річок, важливих для рибицтва;
- місць нересту та зимівлі цінних водних організмів;
- перетину річками державних кордонів;
- гирл забруднених приток великих водотоків і водойм;
- на ділянках, що не зазнають прямого антропогенного впливу та які розташовані на територіях заповідників й національних парків.

Вибору місця пункту спостережень передують попередні дослідження, які передбачають:

- збір та аналіз відомостей про водокористувачів, джерела забруднення вод, аварійні скиди забруднювачів, про фізико-географічні, морфометричні та режимні характеристики водного об'єкта;

- обстеження водного об'єкта та прибережних водоохоронних смуг з метою визначення їх стану, додаткових джерел забруднення та зон забрудненості, виділення характерних біотипів.

В залежності від господарського значення водного об'єкта, якості води, його розмірів і водності пункти спостережень поділяють на чотири категорії, які визначають частоту контролю та детальність програми спостережень.

Пункти спостережень першої категорії розміщують на великих і середніх водних об'єктах, що мають важливе господарське значення:

- в районах міст з чисельністю населення більше 1 млн.;
- в районах організованого скиду зворотних вод, що призводить до значної забрудненості води;
- в місцях нересту та зимування особливо цінних видів промислових водних організмів;
- в районах повторюваних аварійних скидів забруднюючих речовин та заморних явищ серед водних організмів.

Пункти спостережень другої категорії розташовують переважно на водотоках і водоймах:

- в районах міст з населенням 0,5...1,0 млн.;
- в місцях організованого скиду дренажних зворотних вод із зрушуваних територій та промислових стічних вод;
- на важливих для рибицтва передгребливих ділянках рік;
- в місцях нересту та зимування цінних видів промислових організмів;
- в районах із середньою забрудненістю води;
- при перетині річками державних кордонів.

Пункти контролю третьої категорії влаштовують на водних об'єктах:

- в районах міст з населенням до 0,5 млн.;
- в гирлах забруднених приток великих рік і водойм;
- в районах організованого скиду зворотних вод, що призводить до низької забрудненості поверхневих вод;
- на замикаючих ділянках великих і середніх рік.

Пункти спостереження четвертої категорії встановлюють:

- на незабруднених ділянках водних об'єктів;
- на водотоках і водоймах, які розташовані в державних заповідниках і національних парках, та на територіях з унікальними природними утвореннями.

У місцях спостережень влаштовують один або декілька створів, під яким розуміють умовний поперечний розріз водного об'єкта, в якому виконують комплекс робіт для визначення якості води. Створ розміщують з урахуванням гідрометеорологічних та морфометричних особливостей водного об'єкта, розміщення джерел забруднення, об'єму, складу і властивостей скидних зворотних вод та з врахуванням вимог водокористувачів і водоспоживачів.

Один створ розміщують на водотоках при відсутності організованого скиду зворотних вод в гирлах забруднених приток, на незабруднених ділянках водостоків, на замикаючих і передгребливіх ділянках річок та в місцях перетину державних кордонів. Два та більше створів передбачають на водотоках при наявності організованого скиду зворотних вод. Один з них встановлюють вище джерела забруднення, а інші – нижче джерела забруднення.

Кількість вертикалей у створі водостоків, на яких відбирають проби води, залежить від умов змішування річкових вод із зворотними чи водами приток. При однорідному хімічному складі встановлюють одну вертикаль по стрижені водотоку. При неоднорідному хімічному складі передбачають не менше трьох вертикалей, одна на стрижені, а інші на віддалі 3...5 м від берега. Кількість вертикалей у створі водойми визначається шириною забрудненості зони. Першу вертикаль влаштовують на відстані 0,5 км від берега чи місця скиду зворотних вод, а останню – безпосередньо за межею зони забруднення.

Кількість горизонтів на вертикалі залежить від глибини водного об'єкта у місці вимірювання. При глибині до 5 м встановлюють один горизонт. Влітку проби води беруть на глибині 0,2...0,3 м від поверхні водного дзеркала, а взимку – біля нижньої поверхні льоду. При глибині 5...10 м встановлюють горизонти біля поверхні води та на відстані 0,5 м від дна. При глибині 10...50 м встановлюють три горизонти. При цьому проміжний горизонт передбачають на половині глибини водного об'єкта. При глибині більше 50 м встановлюють такі горизонти: біля поверхні, на глибинах 10, 20, 50, 100 м та біля дна. При різкій зміні густини води встановлюють додаткові горизонти в кожному шарі.

Організацію спостережень за якістю води виконують за відповідними програмами, які вибирають в залежності від категорії пункту спостережень з врахуванням цільового використання водного об'єкта. Параметри, дослідження яких визначене програмами спостережень за гідрологічними й гідрохімічними показниками, наведені в табл. 4.1. Періодичність проведення спостережень за гідрологічними та гідрохімічними показниками встановлюють у відповідності з категорією пункту спостережень (табл. 4.2.).

Частота відбирання проб води в контрольних створах залежить від якості води, її витрат та інших гідрологічних характеристик, змінності якості води протягом року, кількості та складу зворотних вод, категорії пункту спостережень, економічних та технічних можливостей. Мінімальна кратність відбирання проб за обов'язковою програмою для рівнинних річок становить 7 разів на рік. Проби відбирають в характерні гідрологічні періоди: в період весняної повені (на підйомі, піку і спаді); під час літньої межени (при найменших витратах та при проходженні дощового наводку); восени перед льодоставом та під час зимової межени.

У водоймах якість води визначають: на початку весняного та у період максимального наповнення; в літньо-осінній період при найбільш низькому рівні води; взимку при найбільш низькому рівні та найбільшій товщині льоду.

Таблиця 4.1 – Програми спостережень за якістю поверхневих вод за гідрологічними та гідрохімічними показниками

Показники	Види програм			
	обов'яз- кова	скорочені		
		1	2	3
Гідрологічні:				
Витрати води (на водотоках), m^3/c , або рівень (на водоймах), m	+	+	+	+
Швидкість течії (на водотоках), m/c	+	-	-	+
Гідрохімічні:				
Візуальне спостереження	+	+	+	+
Температура, $^{\circ}C$	+	+	+	+
Колірність, $град.$; прозорість, $см$; запах, <i>бали</i>	+	-	-	-
Концентрації розчинених у воді газів, $мг/л$:				
- кисню	+	+	-	+
- двоокису вуглецю	+	-	-	-
Концентрація завислих речовин, $мг/л$	+	-	+	+
Водневий показник (рН)	+	+	+	+
Окисно-відновний потенціал (Eh), $мВ$	+	-	-	-
Питома електропровідність, $Ом/см$	-	+	+	-
Концентрації головних іонів ¹⁾ , $мг/л$: хлоридних, сульфатних, гідрокарбонатних, кальцію, магнію, натрію, калію, суми іонів	+	-	-	-
ХПК, $мг/л$	+	-	+	+
БПК ₅ , $мг/л$	+	-	+	+
Концентрації біогенних елементів, $мг/л$: амонійних, нітритних, нітратних іонів, фосфатів, заліза загального, кремнію	+	-	-	-
Концентрації широко поширених забруднюючих речовин, $мг/л$: нафтопродуктів, СПАР, летких фенолів, пестицидів і сполук металів	+	-	-	-
Концентрації двох-трьох забруднюючих речовин, основних для води в даному пункті контролю, $мг/л$	-	-	+	-
Концентрації всіх речовин, що забруднюють воду в даному пункті контролю, $мг/л$	-	-	-	+

¹⁾ При наявності нижче джерела забруднення декількох створів концентрацію головних іонів вимірюють тільки в першому створі після скиду зворотних вод.

Таблиця 4.2 – Періодичність проведення спостережень за гідрологічними та гідрохімічними показниками

Періодичність проведення спостережень	Програми для пунктів спостережень категорії			
	I	II	III	IV
Щоденно	Скорочена 1	Візуальні спостереження	-	-
Щодекади	Скорочена 2	Скорочена 1	-	-
Щомісяця	Скорочена 3			-
В основні фази водного режиму	Обов'язкова			

Скорочену програму організації спостережень за якістю поверхневих вод в залежності від обсягів робіт поділяють на три види:

- перша програма містить візуальні спостереження, визначення витрати води в водотоках, рівня води в водоймах, температури, концентрації розчиненого кисню та питомої електропровідності;

- друга програма передбачає візуальні спостереження, визначення витрат води в водотоках, рівня води в водоймах, температури, рН, питомої електропровідності, концентрації завислих речовин, біохімічної потреби в кисні (БПК₅), хімічної потреби в кисні (ХПК), концентрації основних для даного пункту двох-трьох забруднюючих речовин;

- третя програма містить візуальні спостереження, визначення витрат води та швидкості течії водотоку, рівня води в водоймі, температури, рН, концентрації завислих речовин, розчиненого кисню, ХПК, БПК₅, концентрації всіх забруднюючих речовин в даному пункті.

Організація систематичних спостережень за гідрохімічним режимом водного об'єкта передбачає проведення польових робіт на самому об'єкті та аналіз проб води в хімічній лабораторії. З метою отримання репрезентативних результатів якості води аналізи необхідно виконувати в умовах хімічних лабораторій. В зв'язку з тим, що в складі проби води є інгредієнти, які змінюють свій стан, аналізи виконують безпосередньо в польових умовах.

Послідовність виконання робіт в польових умовах при відбиранні проби з поверхні передбачає визначення прозорості і кольору, смаку і запаху, температури, вмісту іонів водню (рН), діоксиду вуглецю (CO₂), карбонатних іонів і кисню.

Проби води з річкової глибини беруть за допомогою батометра. Проби води для аналізу в хімічній лабораторії законсервовують різними методами щоб вони не втратили свого якісного складу. Консервація не забезпечує постійного складу проби на необмежений строк, тому аналізи необхідно здійснювати у найкоротший термін.

В лабораторії визначають органолептичні та хімічні показники води. До органолептичних показників відносять такі, що діють на органи чуття людини: запах і смак, прозорість, мутність, колірність, вміст завислих речовин.

Хімічними показниками якості води є активна реакція (рН), вміст розчинених газів, заліза, хлоридів, сульфатів, сполук азоту, окисність та біологічна потреба в кисні. Для повної характеристики водного об'єкта дані хімічного аналізу води доповнюються її бактеріологічними характеристиками, а саме мікробним числом, колі-титром та колі-індексом.

4.5 Інтегральні показники забруднення водного басейну

Оцінювання забруднення водного басейну виконується системою інтегральних показників: показники загального навантаження забруднень; показники поширення забруднень та показники зовнішнього водообміну.

До групи інтегральних показників загального навантаження забруднень належать:

а) абсолютний показник загального навантаження, що характеризує середню насиченість водного потоку забруднюючими речовинами і описується залежністю:

$$C_{\Pi} = \frac{C_{\text{ПР}} \cdot Q_{\text{Р}} + C_{\text{СТ}} \cdot Q_{\text{СТ}}}{Q_{\text{Р}} + Q_{\text{СТ}}}, \quad (4.1)$$

де $C_{\text{ПР}}$, $C_{\text{СТ}}$ – відповідно, концентрація природних речовин в річковій і стічній воді;

$Q_{\text{Р}}$, $Q_{\text{СТ}}$ – витрати річкової і стічної води.

б) показник перевищення (або не перевищення) забруднення над нормою. Він виражається забезпеченістю стоку забрудненої води в створі і підраховується за числом днів, коли концентрація забруднюючих речовин є більшою за норму.

в) показник відносної тривалості забруднення потоку:

$$\tau_{\text{ЗАБР}} = \sum \Delta T / T_{\text{ЗАБР}}, \quad (4.2)$$

де $\sum \Delta T$ – період часу, на протязі якого скид в річковій воді забруднений;

$T_{\text{ЗАБР}}$ – загальний час забруднення.

г) показник відносного об'єму забруднення скиду:

$$\alpha_{\text{ЗАБР}} = \sum \Delta V / V_{\text{ЗАБР}}, \quad (4.3)$$

де $\sum \Delta V$ – об'єм забрудненого скиду;

$V_{\text{ЗАБР}}$ – загальний об'єм скиду.

д) показник відносного навантаження забруднюючими речовинами, що описується залежністю:

$$\frac{(C_{\text{СТ}} - \text{ГДК}) \cdot Q_{\text{СТ}}}{(\text{ГДК} - C_{\text{ПР}}) \cdot Q_{\text{Р}}} \leq 1,0. \quad (4.4)$$

Якщо показник відносного навантаження є більшим від одиниці, то тоді потік забруднення вище норми.

До показників поширення забруднюючих речовин у водних потоках в водоймах відносяться:

а) лінійний показник забруднення, який описується залежністю:

$$\lambda_{\text{ЛЗАБР.}} = L_{\text{ЗАБР.}} / H; \quad (4.5)$$

де $L_{\text{ЗАБР.}}$ – довжина зони забруднення;

H – середня глибина потоку між створом випуску і створом, де концентрація забруднень рівна ГДК.

б) показник зони забруднення, що визначається за формулою:

$$\lambda_{\text{ЛЗАБР.}} = L_{\text{ЗАБР.}} / B; \quad (4.6)$$

де B – середня ширина потоку на ділянці між випуском скиду і місцем, де концентрація рівна ГДК.

в) відносний показник площі забруднення, який визначається за формулою:

$$\beta_{\text{ЗАБР.}} = \omega_{\text{ЗАБР.}} / \omega_{\text{ЗАГ.}}, \quad (4.7)$$

де $\omega_{\text{ЗАБР.}}$ – загальна забруднена площа;

$\omega_{\text{ЗАГ.}}$ – загальна площа водної поверхні.

г) відносний об'ємний показник забруднення, що описується залежністю:

$$\mu_{\text{ЗАБР.}} = W_{\text{ЗАБР.}} / W_{\text{ЗАГ.}}, \quad (4.8)$$

де $W_{\text{ЗАБР.}}$ – об'єм забрудненої води;

$W_{\text{ЗАГ.}}$ – загальний об'єм води.

д) відносний показник максимальної концентрації на граничній відстані випуску, що визначається за формулою:

$$\psi_l = C_{\text{maxL}} / \text{ГДК}, \quad (4.9)$$

де C_{maxL} – максимальна концентрація забруднюючих речовин на відстані L .

До показника зовнішнього водообміну відносять показник відносного часу насичення водойми забруднюючими речовинами до рівня ГДК і визначають за залежністю:

$$\tau_{\text{ГДК}} = t_{\text{ГДК}} / t_{\text{умовн.}}, \quad (4.10)$$

де $t_{\text{ГДК}}$ – час, що необхідний для насичення водойми до рівня ГДК;

$$t_{\text{умовн.}} = W / V_B, \quad (4.11)$$

де W – середній об'єм водойми;

V_B – середній за багаторічний період скид води з водойми.

Показник зовнішнього водообміну також можна визначити за формулою:

$$\tau_{\text{ГДК}} = -2,3 \lg \left(1 - \frac{\text{ГДК} \cdot Q_{\text{В.ЗМ}}}{Q_P - Q_{\text{СТ}}} \right), \quad (4.12)$$

де $Q_{взм}$ – середня за тривалий час витрата потоку з водойми, що змінилася під дією водозабору і скиду;

$$Q_{взм} = Q_{в} - Q_{в.з} + Q_{ст} ; \quad (4.13)$$

де $Q_{в}$ - природна витрата потоку з водойми;

$Q_{в.з}$ - витрата водозабору;

$Q_{ст}$ - витрата стічних вод.

4.6 Оцінювання якості водного басейну та прогнозування його стану

4.6.1 Вимоги до якості води водного басейну

Якість води характеризується її складом та властивостями, які визначають придатність води для конкретних видів водокористування. Оцінювання якості води здійснюється за санітарними, токсикологічними та органолептичними показниками. Норми якості води водного басейну встановлюються для комунально-побутового, господарсько-питного і рибогосподарського видів водокористування.

Гранично-допустимою концентрацією (ГДК) у воді водного об'єкта господарсько-питного та культурно-побутового використання є така концентрація шкідливої речовини у воді, яка не впливає безпосередньо чи опосередковано на здоров'я людини впродовж всього життя, не викликає несприятливих наслідків у її нащадків і не погіршує гігієнічних умов водокористування. **Гранично-допустимою** концентрацією у воді водного об'єкта, що використовується для рибогосподарських цілей, є концентрація шкідливих речовин, яка не впливає негативно на популяції риб, особливо промислових.

Граничні концентрації та норми вмісту речовин в джерелах водокористування регламентуються відповідними нормами і правилами. Загальні вимоги до складу і властивостей води водних об'єктів господарсько-питного, комунально-побутового та рибогосподарського водовикористання наведено в табл. 4.3.

Гранично-допустимий скид (ГДС) – показник максимально допустимої в одиницю часу маси речовини, що відводиться із зворотними водами у поверхневі та морські води, який з урахуванням встановлених обмежень на скид цієї речовини від інших джерел забруднення гарантує дотримання її вмісту в заданих контрольних створах водного об'єкта. Основними категоріями зворотних вод, для яких передбачені ГДС речовин, є стічні, дренажні та скидні води. Кожне підприємство повинно забезпечувати дотримання нормативів ГДС.

Зворотні води можуть містити речовини, при скиданні яких має враховуватися їх комплексна дія. Негативний ефект в цьому випадку більший, ніж дія окремого компонента. Тоді сума приведених концентрацій речовин, тобто відношень концентрацій (C_i) кожної з речовин, що мають ефект

сумарної дії, до відповідних гранично-допустимих концентрацій (ГДК_i) у воді водного об'єкта, не повинна перевищувати одиниці

$$\sum_{i=1}^n \frac{C_i}{ГДК_i} \leq 1. \quad (4.14)$$

Таблиця 4.3 – Вимоги до складу і властивостей води водних об'єктів господарсько-питного, комунально-побутового та рибогосподарського водокористування

Показники	Водокористування				
	господарсько-питне	комунально-побутове	рибогосподарське категорії		
			вищої	I	II
1	2	3	4	5	6
Завислі речовини	Допускається приріст до фону не більше ніж на: 0,25 мг/л 0,75 мг/л 0,25 мг/л 0,75 мг/л Для водойм, що містять у межах більше 30 мг/л природних мінеральних речовин, допускається збільшення вмісту на 5%. Випуск зависі із швидкістю осадження більше 0,4 мм/с для водостоків та більше 0,2 мм/с для водосховищ заборонений				
Плаваючі домішки	Не допускаються плівки нафтопродуктів, мастил, жирів та інших плаваючих домішок				
Запахи, присмаки, забарвлення	Допускаються запахи і присмаки інтенсивністю не більше 2 балів (безпосередньо чи після хлорування води). Забарвлення не повинне виявлятися у стовпчику води висотою: 20 см 10 см		Сторонні запахи, присмаки та забарвлення води, що впливають на м'ясо риб, не допускаються		
Температура	Допускається підвищення не більше ніж на 3°C по відношенню до середньомісячної температури найбільш жаркого місяця року за останні 10 років		Допускається підвищення не більше ніж на 5°C по відношенню до природної температури води (при наявності холодноводних риб загальна температура води не повинна перевищувати 20°C влітку і 5°C взимку; в решті випадків – відповідно 28 та 8°C)		
pH	Водневий показник pH не повинен виходити за межі 6,5-8,5				
Мінеральний склад води	Сухий залишок не більше 1000 мг/л, у тому числі хлоридів до 350 мг/л і сульфатів до 500 мг/л		Не нормується		
Розчинений кисень	Не повинен бути менше 4 мг/л у будь-який період в пробі, відібраній до 12 години дня		Не повинен бути менше 6 мг/л		Взимку під льодом не менше 4, влітку – не менше 6 мг/л

Продовження табл.4.3

1	2	3	4	5	6
БПК _{повн}	Не повинна перевищувати при 20°C		3,0 мг О ₂ /л (якщо взимку вміст кисню у воді зменшується для водойм вищої і I категорії до 6 мг/л, II категорії до 4 мг/л, то дозволяється тільки скид води, що не впливає на БПК		
	3,0 мг О ₂ /л	6,0 мг О ₂ /л			
ХПК	Не повинна перевищувати		Не встановлено		
	15,0 мг О ₂ /л	30,0 мг О ₂ /л			
Збудники хвороб	Не допускаються (після знезаражування біологічно очищених вод коли-індекс не повинен перевищувати 1000 при вмісті залишкового хлору 1,5 мг/л)				

4.6.2 Методи оцінювання прогнозованого стану водного басейну

Оцінити прогнозовану якість водного басейну можна за допомогою методу розчинення зворотних вод у водопотоках і водоймах. Суть даного методу – зниження концентрації забруднюючих речовин у водоймі і водопотоці. Інтенсивність цього процесу характеризується кратністю розчинення і визначається за формулою:

$$n = \frac{Q + Q_3}{Q_3}, \quad (4.15)$$

де Q - витрата водного потоку;

Q_3 - витрата зворотних вод, що скидаються у водойму або водопотік.

Кратність розчинення можна визначити також через концентрації:

$$n = \frac{C_3 - C_B}{C - C_B}, \quad (4.16)$$

де C_3 , C_B , C – концентрація забруднюючих речовин відповідно в зворотній воді, водоймі і водопотоці до випуску.

При певних припущеннях, а саме, потік безмежний, початкове розчинення відсутнє, випуск зосереджений, за методом Родзиллера максимальна концентрація в умовах стаціонарної лінійної задачі визначається із залежності:

$$C_{\max} = C + (C_3 - C) \exp(-\alpha \sqrt[3]{L}), \quad (4.17)$$

де C – концентрація в створі повного перемішування;

α - коефіцієнт, що враховує гідравлічні умови змішування;

C_3 - концентрація забруднюючих речовин у зворотній воді;

L - відстань розчинення випуску скидних вод.

Метод Лапшева описує закономірності, що проходять в струминному потоці з врахуванням початкового розчинення при зосереджених і розсіяних випусках. Кратність початкового розчинення в цьому випадку визначається за формулою:

$$n_{II} = \frac{0,248}{1-m} d^2 \left(\sqrt{m^2 + 8,1 \frac{1-m}{d^2}} - m \right), \quad (4.18)$$

де m - емпіричний параметр;

d - відносний діаметр струменя в розрахунковому створі.

Розбавлення зворотних вод у водосховищах і озерах визначається характером переміщування водних мас вітровими течіями. В місцях випуску зворотних вод утворюється сильно забруднена зона. В цій зоні початкова концентрація речовин (C_{II}) суттєво не відрізняється від їх концентрації у зворотних водах (C_3). Величина C_{II} залежить від початкового розбавлення зворотних вод (n_{II}), яке відбувається безпосередньо біля випуску.

Кратність початкового розбавлення залежить від кількості зворотних вод та швидкості їх руху при вході у водойму, глибини водойми і швидкості течії в місці випуску та місця випуску зворотних вод по глибині водойми і обчислюється за залежностями:

в разі випуску в мілководдя або у верхню третину глибини

$$n_{II} = \frac{Q_3 + 0,00215 V H_C^2}{Q_3 + 0,000215 V H_C^2}; \quad (4.19)$$

в разі випуску у нижню третину глибини

$$n_{II} = \frac{Q_3 + 0,00158 V H_C^2}{Q_3 + 0,000079 V H_C^2}, \quad (4.20)$$

де Q_3 - витрати зворотних вод, m^3/c ;

V - швидкість вітру над водою в місцях випуску зворотних вод, m/c ;

H_C - середня глибина водойми поблизу випуску, m .

При переміщенні водних мас під дією вітрової течії відбувається основне розбавлення зворотних вод. В результаті початкова концентрація забруднюючих речовин поступово зменшується. У забрудненій смужі утворюється найбільш забруднена струмина з максимальними концентраціями речовин.

Кратність основного розбавлення (n_0) в цій струмині для розрахункового пункту визначають за залежностями:

в разі випуску в мілководдя або у верхню третину глибини

$$n_0 = 1 + 0,412 (L/\Delta X)^{0,627+0,0002 L/\Delta X}, \quad (4.21)$$

$$\Delta X = 6,53 H_C^{1,167}, \quad (4.22)$$

в разі випуску у нижню третину глибини

$$n_0 = 1,85 + 2,38 (L/\Delta X)^{0,41+0,0064 L/\Delta X} \quad (4.23)$$

$$\Delta X = 4,41 H_C^{1,167}, \quad (4.24)$$

де L - відстань від випуску зворотних вод до розрахункового пункту, m .

4.6.3 Класифікація математичних моделей річкових самоочисних процесів¹⁾

Оцінювання прогнозованої якості водного басейну можливо на підставі достовірних моделей процесів забруднення та очищення водного середовища. Для опису динаміки якості річкових вод розроблено багато математичних моделей. Мокіним В.Б. (2000 р.) ці моделі за кількістю та характером процесів, які враховуються, класифіковано на три типи:

- моделі, що враховують лише розбавлення вод;
- моделі, що враховують процеси самоочищення річки, але без урахування процесів розбавлення;
- моделі розбавлення з урахуванням процесів самоочищення водного потоку.

Відомі моделі враховують тільки до трьох основних факторів, вважаючи інші фактори несуттєвими. За ступенем складності математичного опису більшість моделей надто спрощені або узагальнені, а тому не завжди є адекватними характеру динаміки реальних процесів. Ідентифікація деяких параметрів та змінних багатьох моделей за реальних природних умов іноді неможлива через відсутність методів чи засобів вимірювання цих величин.

На даний час в Україні та за кордоном вже розроблено багато математичних моделей, які описують динаміку якості річкових вод. Загалом, їх можна розділити на два класи. До першого класу належать такі, які переслідують не стільки біофізико-хімічну ідентичність річковим процесам, скільки математичну подібність експериментальним даним як-то моделі, побудовані за методом групового урахування аргументів, нейронними мережами, методом найменших квадратів, інтерполяційні співвідношення тощо. До другого класу належать такі, які, перш за все, ставлять за мету біофізико-хімічну ідентичність річковим процесам, адаптуючи відповідно математичний опис. Моделі першого класу найкраще використати для довгострокового прогнозування. Моделі другого - для короткострового. Моделі другого класу, на відміну від першого, можна використовувати у розрахунках, навіть за дуже малої кількості експериментальних даних, однак, їх синтез та доведення адекватності є дуже складною та кропіткою задачею.

Розглянемо найбільш поширені як в Україні, так і за її межами математичні моделі другого класу, що описують зміну значень хімічних та бактеріологічних показників якості річкових вод. Відразу обмежимося моделюванням якості води в середніх та малих рівнинних річках, в яких розподіл значень показників якості води по глибині та по ширині є відносно однорідним і в першому наближенні може повністю характеризуватись значенням показників в якійсь одній усередненій точці поперечного перерізу річки. Отже, в цьому випадку, процес моделювання можна виконувати не

¹⁾ Параграф написаний доцентом, к.т.н. Мокіним В.Б.

по трьох просторових координатах, а лише по одній - z , вісь OZ якої спрямована вздовж напрямку течії усередненого річкового потоку. Застосування більш складних моделей річкових процесів, наприклад, А.В. Караушева, В.І. Лаврика, принаймні, для поточного моделювання в Україні є "неможливим" через відсутність регулярних досліджень якості води у річках по ширині та по глибині створів.

Більшість існуючих моделей за кількістю та характером процесів, які враховуються, можна розбити на три типи:

- моделі, що враховують лише процеси розбавлення вод;
- моделі, що враховують процеси самоочищення річки, але без врахування процесів розбавлення;
- моделі розбавлення з врахуванням процесів самоочищення.

Серед моделей першого типу найбільш поширеною є модель В.А. Фролова - І.Д. Родзиллера для консервативних речовин, тобто речовин, які не вступають в хімічні реакції:

$$\frac{dx(t)}{dt} = -F_1(t) \cdot [x(t) - x_{cp}(t)], \quad x(0) = x_0, \quad (4.25)$$

де $x_{cp}(t)$ - середнє значення концентрації речовини в так званому створі повного змішування;

$F_1(t)$ - деяка нелінійна функція, вираз якої виведений В.А. Фроловим на основі аналізу розмірностей - характеризує зменшення концентрації x за рахунок процесів розбавлення.

Ця модель описує зміни значення показника x начебто в часі t , але на практиці її використовують для опису його зміни в просторі - вздовж осі OZ .

Інший підхід використовується в моделях, основаних на диференціальному рівнянні другого порядку в частинних похідних, в якому зміна значення x моделюється як в часі t , так і в просторі. Прикладами таких моделей є моделі В.М. Маккавєєва, А.В. Караушева, А.М. Айтсама, Х.А. Вельнера, Л.Л. Паала, М.А. Бесценної, М.А. Руффель та інших. Наприклад, для однієї просторової координати z :

$$-\frac{\partial x(t, z)}{\partial t} = -\delta \cdot \frac{\partial^2 x(t, z)}{\partial z^2} + v \cdot \frac{\partial x(t, z)}{\partial z} \quad (4.26)$$

з початковими та граничними умовами:

$$x(0, z) = x_0(z), \quad x(t, 0) = a(t), \quad x(t, L) = b(t), \quad (4.27)$$

де δ - коефіцієнт турбулентної дифузії;

L - довжина ділянки річки, яка моделюється - визначається вздовж осі OZ ;
 $x_0(z)$ - залежність значень x від координати z в межах ділянки моделювання в початковий момент часу;

$a(t)$ і $b(t)$ - залежність значень x від часу t на вході ($z = 0$) і на виході ($z = L$) ділянки моделювання, відповідно.

Головним недоліком моделей першого типу є те, що вони можуть застосовуватися для опису динаміки концентрацій лише консервативних хімічних речовин, враховуючи тільки один фізичний основний фактор - фактор розбавлення (розповсюдження та перемішування). Крім цього, основним недоліком моделі (4.25) є невідповідність динаміки реальних процесів розбавлення експоненціальному закону, а моделі (4.26), (4.27) - необхідність збору додаткової інформації, зокрема значень функцій $a(t)$, $b(t)$ та $x_0(z)$.

Серед моделей другого типу - моделей самоочищення річки, в яких не враховуються процеси розбавлення - найбільш поширеними є моделі у вигляді диференціального рівняння першого порядку. Загалом, можна виділити такі види моделей:

1. Прості лінійні моделі, основані на звичайному диференціальному рівнянні першого порядку:

$$\frac{dx(t)}{dt} = -Kx(t), \quad x(0) = x_0, \quad (4.28)$$

де $x(t)$ - значення показника якості річкової води;

t - час;

K - коефіцієнт розпаду забруднювальної речовини за одиницю часу;

x_0 - значення x в початковий момент часу $t = 0$.

2. Нелінійні моделі Моно:

$$\frac{dx}{dt} = \frac{\psi_{\max} \cdot x}{v_1 + x}, \quad x(0) = x_0, \quad (4.29)$$

або

$$\frac{dx}{dt} = \frac{\psi_{\max} \cdot x \cdot x_K}{v_2 \cdot x + v_3 \cdot x_K + x \cdot x_K}, \quad x(0) = x_0, \quad (4.30)$$

де x - концентрація у воді деякої хімічної речовини чи вміст бактерій або мікроорганізмів;

x_K - концентрація розчиненого у воді річки кисню;

ψ_{\max} - максимальна швидкість розкладання забруднювальної речовини;

v_1, v_2 - так звані константи напівнасичення для забруднювальних речовин;

v_3 - константа напівнасичення для розчиненого у річці кисню.

Моделі (4.28), (4.29) враховують нелінійність динаміки річкових процесів за гранично низьких чи високих значень величин x . Модель (4.29) враховує ще й вплив концентрації розчиненого у воді кисню.

3. Балансові моделі. Прикладом балансових моделей є моделі зміни концентрації розчиненого у воді кисню, зокрема модель Стритера -Фелпса:

$$\frac{dx}{dt} = a_1(x_H - x) - a_2x_{\text{БСК}}, \quad (4.31)$$

де x - концентрації розчиненого у річковій воді кисню;

x_H - концентрація насичення для кисню у річковій воді;

$x_{\text{БСК}}$ - величина біохімічного споживання кисню (мається на увазі концентрація легкоокислювальних органічних речовин);

a_1 - стала швидкості реаерації для розчиненого у річковій воді кисню;

a_2 - константа розпаду першого порядку для легкоокислювальних органічних речовин.

Рівняння (4.31) є стаціонарним розв'язком диференціального рівняння першого порядку в частинних похідних:

$$\frac{\partial x(t, z)}{\partial t} = \Omega_1 \left\{ \frac{\partial x(t, z)}{\partial z}, x(t, z) \right\}, \quad (4.32)$$

де $\Omega_1(\cdot)$ - деякий лінійний оператор,

Як видно з (4.31), в активі балансу моделі Стритера-Фелпса знаходяться процеси надходження кисню з атмосфери з реаерацією, а в пасиві - процеси використання розчиненого у воді кисню в біохімічних реакціях розкладу та розпаду легкоокислювальних органічних речовин.

Інші балансові моделі динаміки концентрації розчиненого у річковій воді кисню подібні до (4.31), але враховують більшу кількість процесів.

4. Стехіометричні моделі - будуються на конкретних хімічних реакціях за законом дії мас Гульдберга-Вааге.

5. Моделі у вигляді систем диференціальних рівнянь, які описують поглинання та перетворення хімічних речовин різними мікроорганізмами з одночасною зміною біомаси останніх.

Моделями третього типу, тобто тими, які враховують всі процеси самоочищення разом із розбавленням, є моделі першого типу, доповнені моделями другого типу:

1. Моделі, основані на узагальненому рівнянні нерозривності для елемента хімічного процесу:

$$\text{div} [x \cdot v] - \text{div} [\delta \cdot \text{grad } x] + v_5 \cdot v_6 \cdot x + \Phi(t, z) = - \frac{\partial x}{\partial t} \quad (4.33)$$

з початковими та граничними умовами:

$$x(0, z) = x_0(z), \quad x(t, 0) = a(t), \quad x(t, L) = b(t), \quad (4.34)$$

де v_5 - коефіцієнт масопередачі;

v_6 - площа поверхні передачі компонента між фазами на одиницю об'єму - питома площа поверхні передачі;

$\Phi(t, z)$ - джерела або стоки компонента.

2. Вдосконалені балансові моделі, наприклад - рівняння часткового перемішування, моделі Дриснека, Доббінса, Кемпа та їх модифікації.

3. Модель Мокіна В.Б., основана на розбитті усіх річкових процесів самоочищення, у т.ч. розбавлення, на групи за тривалістю дії на заданий показник якості води і формуванні математичного опису їх взаємодії.

Наприклад, для концентрації сполук свинцю: більша частина цих сполук осаджується відразу. Частина (солі свинцю), реагуючи з хлоридами, хімічно трансформується в хлорид свинцю, який лише потім осаджується. Частина виводиться з води іншими процесами. Отже, має місце низка процесів, в якій кожен наступний перетворює продукти попереднього і лише останній призводить саме до зменшення концентрації хімічної речовини. Ці процеси протікають з різними швидкостями і через це, їх взаємодію треба розглядати як послідовно-одночасне протікання. Послідовно - тому, що наступний починається лише тоді, коли вже почався попередній і з'явилися якісь результати його дії, а одночасно - тому, що наступний починається тоді, коли попередній ще не закінчився. Доведено, що математичний опис дії одного-трьох послідовно-одночасних процесів чи їх груп слід здійснювати у вигляді:

$$\frac{dx(t)}{dt} = G_1(t)x(t), \quad I = 1 \vee 2 \vee 3, \quad (4.35)$$

$$x(0) = x_0, \quad (4.36)$$

$$G_1(t) = -k_1, \quad (4.37)$$

$$G_2(t) = -k_2 (1 - e^{-k_1 t}), \quad (4.38)$$

$$G_3(t) = -k_3 \left[1 - e^{-k_2 (1 - e^{-k_1 t}) t} \right], \quad (4.39)$$

де x - це значення показника якості води (наприклад, концентрації будь-якої хімічної речовини), що моделюється;

$G_1(t)$ - функція, яка враховує вплив I -ї ($I = 1, 2$ чи 3) кількості груп послідовно-одночасних процесів на зміну значення показника x ;

x_0 - значення концентрації $x(t)$ в початковий момент часу $t = 0$;

T - інтервал часу;

k_1 - коефіцієнт пропорційності між швидкістю протікання процесів першої групи, за умови їх ізольованого протікання, та значенням показника, на який вони діють;

k_2 - коефіцієнт пропорційності між швидкістю протікання процесів другої групи, за умови їх ізольованого протікання, та значенням показника, на який вони діють; множенням k_2 на коефіцієнт $(1 - e^{-k_1 t})$ враховується вплив процесів першої групи на процеси другої;

k_3 - коефіцієнт пропорційності між швидкістю протікання процесів третьої групи, за умови їх ізольованого протікання, та значенням показника, на який вони діють; множенням k_3 на додатковий коефіцієнт враховуються впливи процесів першої та другої груп на процеси третьої.

На рис. 4.7 наведено приклад моделювання за допомогою моделі (4.35)-(4.39) процесів самоочищення річкової води після надходження до неї певного забруднення, яке характеризується деяким показником якості води x :

Інші математичні моделі третього типу є по-різному недосконалими і практичного поширення не отримали.

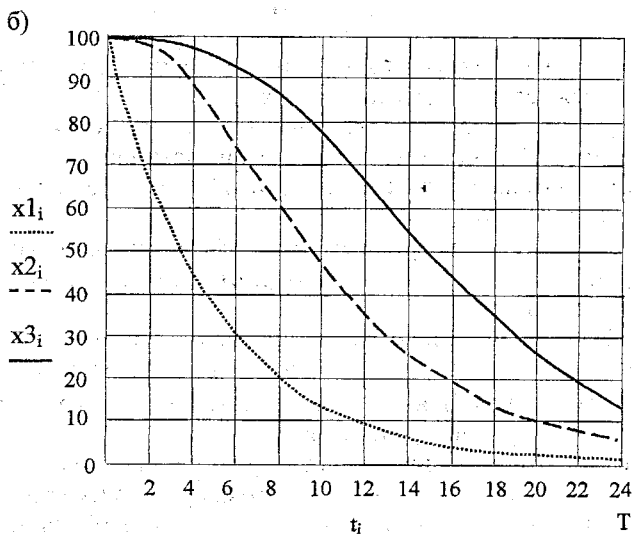
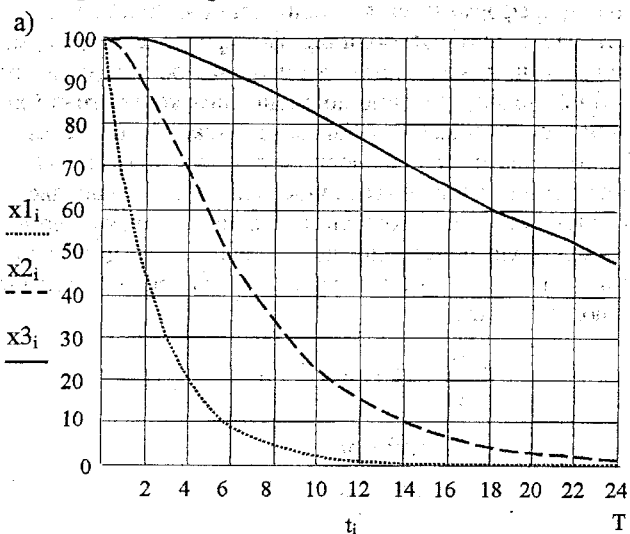


Рисунок 4.7 – Значення показника якості води за умов дії на нього послідовно-одночасних процесів однієї (x_1), двох (x_2) та трьох (x_3) груп з параметрами: а) $k_1=0,4$; $k_2=0,2$; $k_3=0,04$ та б) $k_1=0,2$; $k_2=0,2$; $k_3=0,2$

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ДЛЯ ПЕРЕВІРКИ ЗНАНЬ

1. Дайте загальну характеристику гідросфери.
2. Охарактеризуйте водні об'єкти.
3. Поясніть структуру використання водних ресурсів.
4. Як і які види забруднювачів потрапляють у водні об'єкти?
5. Назвіть основні причини забруднення водного середовища.
6. Наведіть модель техногенного навантаження на водні ресурси України.
7. Як і де організують спостереження за забрудненнями водного середовища?
8. Охарактеризуйте категорії пунктів спостережень.
9. Дайте аналіз програми спостережень за якістю поверхневих вод.
10. Наведіть інтегральні показники забруднення водного басейну.
11. Які вимоги до якості водного басейну?
12. Проаналізуйте методи оцінювання прогнозованого стану водного басейну.
13. Розкрийте суть моделювання процесів забруднення та очищення річкових вод.

5 МОНІТОРИНГ ЛІТОСФЕРИ

5.1 Ґрунтово-земельні ресурси літосфери та антропогенний вплив на них

Матеріальною основою формування ґрунтового покриву, як складової розвитку біоценозів, є літосфера. Літосфера – це верхня оболонка Землі з земною корою та частиною верхньої мантії Землі, що складається з осадових, вивержених та метаморфічних порід. Потужність літосфери 25...200 км. Земна кора – тонка верхня оболонка Землі, що становить 30...80 км на континентах і 5...10 км під океаном. На континентах кора складається з осадового, гранітного та базальтового шарів.

Ґрунтом називають поверхневий шар земної кори, що утворюється при сукупній дії води, сонячної енергії, повітря та організмів на гірські породи. Ґрунт складається з трьох ґрунтових горизонтів певного кольору, що відрізняються хімічним складом та властивостями. Верхній – перегнійно-аккумулятивний горизонт, темного кольору, багатий гумусом та кореневою системою рослин. Другий горизонт - ілювіальний, в якому затримуються та накопичуються речовини з верхнього горизонту. Третій горизонт – материнська порода.

У ґрунті зосереджена майже половина рослинної речовини суші. Він є середовищем існування та субстратом для різних живих організмів: кількість бактерій у ґрунті 1000...7000 кг/га, мікрогрибів – 100...1000 кг/га, водоростей - 10...300 кг/га, дощових черв'яків – 350...1000 кг/га, членистоногих до 1000 кг/га та найпростіших 5...10 кг/га. Ґрунт та мікроорганізми є універсальними природними біологічними адсорбентами, що виконують функції нейтралізатора забруднень. Система “ґрунт – рослини” забезпечує людство продуктами харчування, біологічною сировиною, матеріалами і паливом.

Ґрунт характеризується такими фізичними властивостями: механічний склад, відносна пухкість структури, водопроникність, аераційність, відсутність світла, амплітуда коливань температури, об'єм ґрунтового повітря.

Механічний склад – відносний вміст в ґрунті частинок різного розміру. В залежності від вмісту піску і глини ґрунти поділяють на піщані, супіщані, суглинисті та глинисті. Класифікація ґрунту за механічним складом наведена в табл. 5.1.

Ґрунт характеризується сезонним та добовим температурним режимом. Поверхневий його шар поглинає сонячну енергію і для нього притаманні найбільші перепади температури. Влітку верхній шар ґрунту накопичує теплову енергію, яку віддає в навколишнє середовище взимку. В нічні години нагріта поверхня випромінює надлишок тепла і охолоджується. Глибші шари ґрунту зберігають більш високу температуру. Чим сухіший ґрунт і вища інсоляція, тим на більшій глибині відбуваються зміни температури.

Таблиця 5.1 - Класифікація ґрунту за механічним складом

Механічні елементи	Діаметр, мм
Каміння	> 3,0
Гравій	3,0...1,0
Пісок крупний	1,0...0,5
Пісок середній	0,5...0,25
Пісок дрібний	0,25...0,05
Пил крупний	0,05...0,01
Пил середній	0,01...0,005
Пил дрібний	0,005...0,001
Мул грубий	0,001...0,0005
Мул тонкий	0,0005...0,0001
Колоїди	< 0,0001

Важливою характеристикою ґрунтів є вологість. Вологість залежить від фізичних і хімічних властивостей, режиму рідких й твердих опадів, сонячної енергії. Вода в ґрунті знаходиться в таких формах: пароподібній, хімічно та фізично зв'язаній, капілярній та гравітаційній. Наявність та режим води в ґрунті обумовлюють життєдіяльність мікроорганізмів та рослин.

В ґрунті також міститься повітря, кількість якого визначається його пористістю і водним режимом. Сухий ґрунт містить повітря у всіх порожнинах. При збільшенні вологості ґрунтового повітря витісняється водою. В сильно зволжених ґрунтах вільне повітря практично відсутнє. Із збільшенням глибини кількість кисню в ґрунті зменшується, а вуглекислого газу - збільшується і досягає 10%. В результаті дифузії, зменшення кількості води, зміни атмосферного тиску та теплового розширення ґрунтового повітря постійно оновлюється атмосферним.

Живлення рослин відбувається за рахунок іонного складу ґрунтового розчину. Хімічними характеристиками ґрунту є вміст мінеральних речовин, засоленість ґрунтового середовища та реакція ґрунтового розчину. Доля мінеральних речовин у ґрунтовому розчині не більше 0,2...0,3%. Вони присутні в органічних залишках, ґрунтових колоїдах та гумусі. Засолені ґрунти розрізняють за складом солей (NaCl , MgCl_2 , CaCl_2 , Na_2CO_3 , Na_2SO_4) і ступенем засоленості. Ґрунти, що знаходяться під дією постійного й сильного зволоження соляними водами, називають солончакками. Ґрунти, в яких надлишок солей знаходиться в глибоких шарах і вологість змінюється, вважають солонцями.

Реакція ґрунтового розчину – концентрація в ньому водневих іонів (pH). За цією ознакою ґрунти поділяють на нейтральні (pH = 7), кислі (pH < 7) та лужні (pH > 7).

Індикатором фізичного й хімічного складу ґрунту та його забруднення є рослини, що ростуть на них. Ґрунти разом з організмами утворюють складні екосистеми, які виконують у біосфері найважливіші функції.

- безперервну трансформацію та перерозподіл сонячної енергії, яка надходить на земну поверхню, та протікання процесів біогенного накопичення;

- підтримання планетарного кругообігу біогенних елементів.

Головною властивістю ґрунтів є їх родючість, тобто здатність забезпечувати рослини необхідними мінеральними солями, органічними речовинами, вологою і давати врожай. При біохімічному розкладі органічних речовин, коли недостатньо кисню, утворюється до 10...15% неорганічних сполук (оксиди вуглецю та азоту, аміак, вода тощо) та 85...90% стійких високомолекулярних органічних речовин (гумінові кислоти, фульвокислоти та їх солі). Ці стійкі високомолекулярні речовини називаються гумусом, який забезпечує родючість ґрунтів. Кількість гумусу в ґрунтах визначається комплексом природних умов і змінюється в різних фізико-географічних зонах в широких межах. До 70...90% гумусу містять чорноземи, що сформувалися протягом тисячоліть у зонах лугових степів з сприятливим кліматом.

Ґрунти вкривають майже всю сушу планети, але оброблювальний ґрунт в розрахунку на душу населення становить один гектар, а орні землі – лише 0,4 га. На жаль ці показники постійно зменшуються у зв'язку з приростом населення.

Земельний фонд України становить 60,4 млн. га. Він включає 41,8 млн. га сільгоспугідь, у тому числі 33,2 млн. га ріллі та 7,6 млн. га природних кормових угідь. Тільки 8% території країни ще знаходяться у природному стані (болото, озера та гірські масиви). Структура земельного фонду України наведена на рис. 5.1.

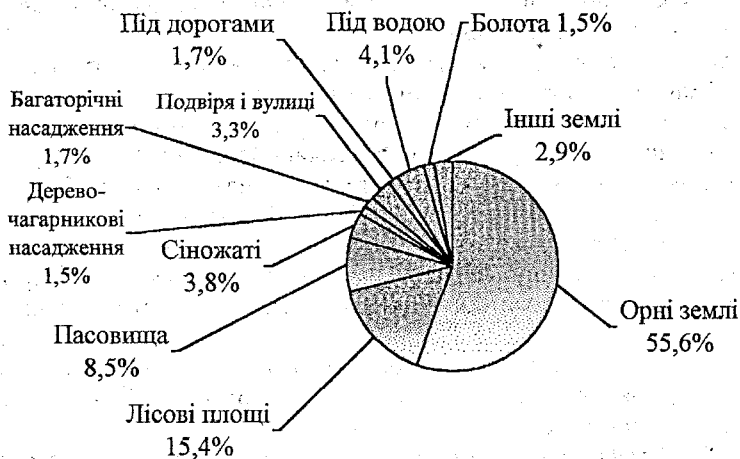


Рисунок 5.1 – Структура земельного фонду України

В розрахунку на одного мешканця України припадає 0,82 га сільгоспугідь, у тому числі 0,65 га ріллі. У середньому в Європі ці показники становлять відповідно 0,44 та 0,25 га. Природна якість угідь нашої держави має один з високих рейтингів за родючістю ґрунтів. Близько 42% всієї території покрито найбільш родючими чорноземами та лугово-чорноземними ґрунтами.

Підвищенню родючості та покращанню інших властивостей ґрунтів сприяють такі антропогенні фактори: правильний обробіток, внесення органічних та мінеральних добрив, зрошування та осушування, захист від ерозії, полезахисне лісорозведення, охорона ґрунтової флори і фауни тощо.

Основною причиною деградації та забруднення ґрунтів є антропогенна діяльність. До чинників погіршення якостей ґрунту відносяться:

- зменшення родючості ґрунту за рахунок винесення поживних речовин із врожаєм;
- забруднення ґрунтів шкідливими для рослин та ґрунтових процесів засобами хімізації та техногенними викидами;
- розвиток ерозійних процесів внаслідок нерозважливого господарювання;
- засолення ґрунту при зрошуванні невідосконаленими технологіями подачі води до рослин;
- перезволоження, яке сприяє заболоченню;
- ущільнення ґрунту при використанні важкої сільськогосподарської техніки та нерегульованому випасанні худоби;
- безпосереднє руйнування в процесі будівництва та видобутку корисних копалин, розкорчовування;
- займання ґрунтів під водосховища, дороги, споруди та будівлі;
- зміни ландшафту, які призводять до осушування чи заболочування внаслідок зміни мікроклімату та кругообігу вологи.

При екстенсивному розвитку господарського комплексу та відсутності природоохоронних заходів порушено оптимальний екологічний стан земельних ресурсів. Це призвело до критичного на межі виснаження стану ґрунтів (табл. 5.2).

Таблиця 5.2 – Якісна характеристика сільгоспугідь України

Характеристика погіршення якостей сільськогосподарських угідь	Питома вага в загальній площі, %
Дефляційно небезпечні	51,7
Підлеглі водній ерозії	33,6
Кислі	30,8
Перезволожені	5,7
Солонцюваті	5,6
Заболочені	5,2
Засолені	4,6
З солонцевими комплексами	1,6
Кам'янисті	1,2

Внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС радіонуклідами (цезієм та стронцієм) на Україні забруднено понад 4,6 млн. га земель у 74 районах 11 областей, у тому числі 3,1 млн. га ріллі.

5.2 Організація спостережень за забрудненням ґрунтів

Державний моніторинг земель складається із систематичних спостережень за їх станом, який передбачає зйомки, обстеження та вишукування, з метою виявлення змін та оцінювання:

- стану використання угідь, полів, ділянок;
- процесів, пов'язаних із змінами родючості ґрунтів (розвиток водної і вітрової ерозії, втрата гумусу, погіршення структури ґрунту, заболочення і засолення), заростання сільськогосподарських угідь, забруднення земель пестицидами, важкими металами, радіонуклідами та іншими токсичними речовинами;

- стану берегових ліній річок, озер, водосховищ, морів, заток, лиманів, гідротехнічних споруд;

- процесів, пов'язаних з утворенням ярів, зсувів, сільовими потоками, землетрусами, карстовими, криогенними та іншими явищами;

- стану земель населених пунктів, територій, зайнятих нафтогазодобувними об'єктами, очисними спорудами, гноєсховищами, складами паливомастильних матеріалів, добрив, стоянками автотранспорту, захороненням токсичних промислових відходів і радіоактивних матеріалів, а також іншими промисловими об'єктами.

Концепція моніторингу ґрунтів в Україні була розроблена наприкінці 80-х років минулого століття. У ній розглянуто просторово-тимчасову систему спостережень для оцінювання і прогнозу стану ґрунтів. Концепція включає кілька видів моніторингу.

Фоновий (еталонний) – вихідна оцінка, умовно прийнята за нульову позначку, стосовно якої порівнюються одержані дані у рамках поточних спостережень. Через те, що для ґрунту, який тривалий час використовується у виробництві, одержати такого роду оцінку практично неможливо, за нульову беруть характеристики ґрунтів на цілині, заповідній ділянці, у лісі. За неможливості одержати зазначену оцінку через відсутність об'єкта (наприклад, суцільну розораність) до фонового можна віднести початковий цикл спостережень, що умовно вважають нульовою оцінкою. Наприклад, усі порівняння в агрохімічному обстеженні (їх було в Україні вже 7 турів кожні 5 років) здійснюють стосовно першого туру.

Як фонові у ґрунтовому моніторингу можуть також використовуватися модальні (що найчастіше трапляються) фізичні, хімічні, біологічні характеристики, а також середній вміст елементів у породі (кларки). Такого роду нульові оцінки можуть виявитися достатніми для висновку про просторово-тимчасову диференціацію ґрунту або свідчити про акумулятивні тенденції при антропогенному забрудненні ґрунтового покриву.

Як еталон також рекомендують використовувати такі характеристики, як здатність продукувати органічну речовину за певних кліматичних ресурсів або біопродуктивність.

Зрештою, як еталони можуть виступати оптимальні параметри ґрунтів, при створенні яких у кореневмісному шарі культурні рослини здатні максимальною мірою реалізувати свій потенціал.

Таким чином, концепція моніторингу ґрунтів, прийнята в Україні, передбачає використовувати кілька еталонів, що дає змогу оцінити сучасний стан розораних ґрунтів щодо природних аналогів, тенденції в їхніх змінах, а також визначити основний зміст коригувальних заходів.

Виробничий (базовий, поточний) – власне моніторинг як систематичні поточні спостереження за ґрунтом у просторі і часі. У концепції встановлені принципи вибору об'єктів, програма і методи вимірювання, сформульовані вимоги до організації спостережень, математичного та програмного забезпечення, метрології і стандартизації, нормування оцінок стану ґрунтів. Нарешті, у концепції визначені кінцеві результати моніторингу, що являють собою картографо-аналітичну автоматизовану інформаційну систему, прогноз змін ґрунтів і техніко-економічне обґрунтування заходів з охорони ґрунтів.

Кризовий – моніторинг ґрунтів, у яких істотно порушені екологічні і продуктивні функції (порівняно з досягнутим середнім багаторічним рівнем), і які перейшли на деградаційний шлях розвитку. Кризовий моніторинг – це особливо оперативний контроль забруднених, засолених, еродованих та інших деградованих ґрунтів, що перебувають у катастрофічному (згідно з об'єктивними нормативними оцінками і попереднім районуванням) стані. Це аналог моніторингу “hot spots”, відомого в багатьох європейських країнах.

Спеціальний – по суті, відомчий, фрагментарний, це система спостережень над одним або кількома процесами. До спеціального можуть бути віднесені меліоративний моніторинг – спостереження, головним чином, за окремими (так званими меліоративними) властивостями ґрунтів; радіаційний моніторинг – спостереження за поведженням радіонуклідів у системі “ґрунт – рослина – тваринницька продукція”. До цього ж виду можна віднести моніторинг окремих категорій земель: урбомоніторинг – спостереження за штучними ґрунтоподібними субстратами і “закритими” ґрунтами в населених пунктах; моніторинг ґрунтів під багаторічними насадженнями – у лісах, садах, виноградниках; моніторинг рекультивованих земель, земель особливого призначення (військові полігони, землі біля вододій – землі водного фонду, транспорту, резерву, рекреаційні землі та ін.). Цілком зрозуміло, що такого роду моніторинг у кожному конкретному випадку має свою специфіку, що полягає, насамперед, у переліку моніторингових показників.

Науковий (прогностичний) – інформація підвищеної точності й ємності, за допомогою якої можна якісно збагатити виробничий моніторинг, значною мірою уточнити зміст управлінських рішень і, головне, створити більш надійні прогностичні моделі. Такий моніторинг представлений три-

валими польовими дослідями, балансовими і лізиметричними дослідженнями, імітаційними та математичними моделями.

Довгострокові спостереження за забрудненням ґрунтів здійснюються на мережі спостережень гідрометеорологічної служби і мають на меті виявлення змін забруднення ґрунтів в містах та на сільськогосподарських землях, що спричинені викидами забруднюючих речовин промисловими підприємствами, застосуванням мінеральних добрив та отрутохімікатів. Крім цього моніторинг здійснюють відповідні структурні підрозділи Мінергоресурсів, Мінагрополітики та інших міністерств і відомств.

Обов'язковими є спостереження за забрудненням ґрунтів за такими інгредієнтами: за вмістом важких металів (свинець, ртуть, кадмій, мідь/як); бензопіренів; біогенних елементів (азот, фосфор); ядохімікатів і пестицидів.

Найнебезпечнішими є пестициди, як найбільш активні і екологічно значимі за своїм токсично-біологічним ефектом. Пестициди застосовують для захисту рослин від різних шкідників і хвороб. В залежності від об'єкта дії і хімічної природи пестициди поділяють на гербіциди, інсектициди, зооциди, фунгіциди, бактерициди, дефоліанти тощо.

Гербіциди застосовують для знищення бур'янів. В практиці використовують гербіциди суцільної дії або ті, що впливають на певну групу бур'янів. Інсектициди використовують для знищення шкідливих комах. Зооциди застосовують для боротьби з гризунами. Фунгіциди призначені для боротьби із збудниками грибкових захворювань рослин, а бактерициди – для боротьби зі збудниками бактеріальних захворювань рослин.

На певні види пестицидів встановлені норми гранично допустимого вмісту (ГДВ), які наведені в табл. 5.3.

Таблиця 5.3 – Норми гранично допустимого вмісту пестицидів

Речовина	ГДВ, мг/кг ґрунту
Гексахлоран технічний	1,00
ДДТ	0,5
Карбарил	0,05
Хлорофос	0,5
Карбофос	2,0
Ліндон	1,0
Поліхлоркамфен	0,5
Прометрін	0,5
Хлораліт	0,05

Принципи нормування шкідливих речовин в ґрунті відрізняються від принципів нормування в атмосфері або гідросфері. При нормуванні шкідливих речовин в ґрунті враховується не тільки та небезпека при безпосередньому контакті з ґрунтом, але й наслідки вторинного забруднення контактуючих з ґрунтом середовищ (повітря, вода).

Токсична дія пестицидів визначається дозою речовини, що виражена в міліграмах на кілограм маси тварини або на літр і кубічний метр повітря.

Для оцінювання токсичності пестицидів прийнято середню смертельну дозу (ЛД₅₀), яка викликає смерть 50% піддослідних тварин при споживанні препарату.

В залежності від цього показника пестициди поділяють на:

- сильнодіючі – ЛД₅₀ до 50 мг/кг;
- високотоксичні - ЛД₅₀ до 50...200 мг/кг;
- середньотоксичні – ЛД₅₀ до 200...1000 мг/кг;
- малотоксичні - ЛД₅₀ до 1000 мг/кг.

Необґрунтоване використання пестицидів негативно впливає на якість ґрунтів. Вони дають різкий негативний результат у відношенні кількості і активності ґрунтової фауни і мікроорганізмів.

5.3 Оцінювання якості ґрунтів та прогнозування їх стану

Достовірне оцінювання якості ґрунтів та прогнозування їх стану з можливістю управління цим процесом ґрунтується на глибокому вивченні закономірностей формування їх теплового, водного та сольового режимів. Рішення цієї проблеми базується на кількісній характеристиці детермінованих або стохастичних процесів.

Домінуючим фактором формування ґрунтів та процесів, що сприяють поліпшенню їх якості, є теплоенергетичні ресурси клімату та процесу теплового обміну. Відповідно до закону збереження енергії стосовно процесу теплообміну між літосферою та атмосферою **рівняння теплоенергетичного балансу ділянки землі** відповідно зі схемою теплообміну, яка запропонована В.С. Мезенцевим, може бути представлено у вигляді

$$B_K + B_A + P^+ + B_1 + LC \pm I_{H_T} = LZ + B_0 + P^- + I_{H_C} + B_2, \quad (5.1)$$

де B_K , B_0 , B_A – відповідно, поглинена радіація, довгохвильове випромінювання земної поверхні та поглинена нею частина противипромінювання атмосфери;

P^+ , P^- – відповідно, турбулентний теплообмін, направлений до літосфери і в атмосферу;

B_1 , B_2 - теплообмін в активному шарі ґрунтів, що має двознаковий добовий та річний хід;

LC - теплота, що виділяється при конденсації водяних парів;

LZ - затрати теплоти на процес сумарного випаровування;

L - прихована теплота пароутворення;

I_{H_T} - виділення або затрати теплоти у зв'язку із замерзанням ґрунтової вологи, або її розмерзанням;

I_{H_C} - затрати теплоти на танення снігу в весняний період.

Аналітичний вираз закону збереження й перетворення енергії стосовно теплоенергетичних ресурсів клімату описується рівнянням

$$LZ_K = LZ + E_{\Phi} - P^- + l (h_C \pm h_T), \quad (5.2)$$

де Z_K - водний еквівалент теплоенергетичних ресурсів клімату;

$E_{\epsilon\phi} = B_0 - B_A$ - ефективне випромінювання.

Величина теплоенергетичних ресурсів процесу сумарного випаровування описується рівнянням

$$LZ_m = R^+ + P + B_1 - B_2 + I(h_c \pm h_r), \quad (5.3)$$

де Z_m - водний еквівалент теплоенергетичних ресурсів сумарного випаровування;

$R^+ = B_K - E_{\epsilon\phi}$ - радіаційний баланс земної поверхні.

Баланс прибуткових та витратних теплоенергетичних затрат сумарного випаровування описується рівнянням

$$LZ_m = LZ + T, \quad (5.4)$$

де $T = (E_{\epsilon\phi} + P - LC)$ - затрати теплоенергетичних ресурсів на сумарний теплообмін.

В рівнянні теплоенергетичного балансу (5.4) сумарне випаровування та теплообмін характеризуються теоретичними межами

$$0 \leq Z \leq Z_m, \quad 0 \leq T \leq LZ_m. \quad (5.5)$$

Водний баланс ділянки літосфери є математичним виразом закону збереження й перетворення речовин в процесі вологообміну між компонентами географічної оболонки та встановлює в кількісній формі зв'язок між прибутковими й витратними характеристиками цього процесу. За розрахунковий інтервал часу для одиначної ділянки літосфери від денної поверхні до водоупору (рис. 5.2) вологообмін можна представити у вигляді рівняння водного балансу

$$KX + C + (W_1 - W_2) + (Q_1 - Q_2) = Z + (Y_2 - Y_1) + (G_2 - G_1) + (S_2 - S_1) + (P_2 - P_1), \quad (5.6)$$

де KX - сума атмосферних опадів X , що виправлена на недобрахування опадомірними приладами коефіцієнтом K ;

C - кількість вологи, яка конденсується на елементах земної поверхні та верхньому шарі ґрунту;

W_1, W_2 - запаси вологи в шарі ґрунту h_P , відповідно, на початок й кінець розрахункового проміжку часу;

Q_1, Q_2 - запаси вологи в шарі $(h_{ГВ} - h_P)$, відповідно, на початок й кінець розрахункового проміжку часу;

A_1, A_2 - вологообмін між ґрунтом й повітрям на рівні денної поверхні;

Z - сумарне випаровування;

Y_1, Y_2 - приплив та відтік поверхневих вод;

G_1, G_2 - приплив та відтік ґрунтової вологи в шарі h_P ;

S_1, S_2 - приплив й відтік ґрунтової вологи в шарі $(h_{ГВ} - h_P)$;

P_1, P_2 - приплив й відтік ґрунтових вод;

D_1, D_2 - вологообмін між шаром ґрунту аерації та шаром насичення ґрунтовою водою;

U_1, U_2 - вологообмін між шарами ґрунту h_P та $(h_{ГВ} - h_P)$;

$h_{ГВ}$ - глибина залягання ґрунтових вод.

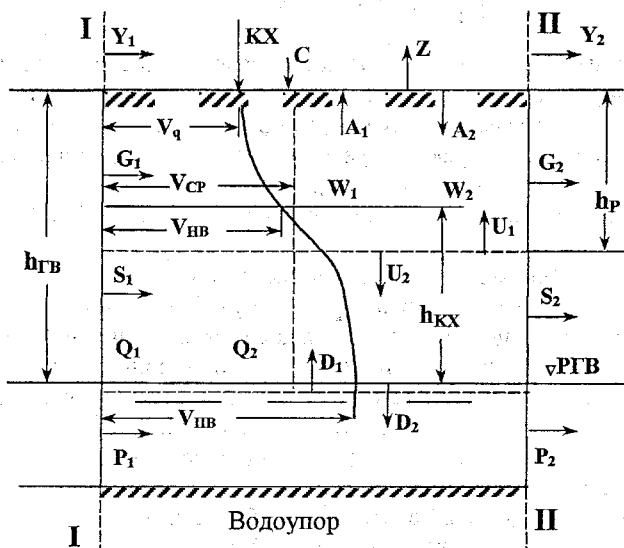


Рисунок 5.2 – Схема вологообміну в шарі літосфери

Дослідження окремих елементів теплоенергетичного (5.4) та водного (5.6) балансів дозволяють розробляти прогноз водного режиму літосфери, в тому числі з врахуванням антропогенних факторів.

В практиці оцінювання якості ґрунтів та прогнозування їх стану за результатами водобалансових досліджень використовують рівняння зв'язку елементів теплоенергетичного та водного балансів. Це обумовлено тим, що загальними витратними компонентами теплоенергетичного й водного балансів ділянки літосфери є сумарне випаровування та затрати теплоти на цей процес.

Рівняння зв'язку установлюють аналітичну залежність сумарного випаровування від компонентів процесу перетворення сонячної енергії та ресурсів вологи і в диференціальній формі мають вигляд

$$\partial \beta_Z / \partial \beta_H + \partial \beta_Y / \partial \beta_H = 1, \quad (5.7)$$

$$\partial \delta_Z / \partial \delta_H + \partial \delta_Y / \partial \delta_H = 1, \quad (5.8)$$

де: $\beta_Z, \delta_Z, \beta_Y, \delta_Y, \beta_H, \delta_H, \beta_T, \delta_T$ - відносні сумарні випаровування (Z), стік (Y), сумарне зволоження ($KX+W_1-W_2$) та сумарний теплообмін (T) відповідно водним еквівалентам сумарного випаровування (Z_m) та клімату (Z_K).

Інтегрування рівнянь (5.7) та (5.8) в загальному вигляді після відповідної підстановки дозволяє отримати часткові рівняння зв'язку

$$\beta_Z = (1 + \beta_H^{-n})^{-1/n}, \quad (5.9)$$

$$\delta_Z = \delta_H (1 + \ell^{an} \delta_H^n)^{-1/n}, \quad (5.10)$$

де n - параметр, числові значення якого залежать від відношення сумарного випаровування та зволоження в оптимальних умовах і фізико-географічних умовам формування стоку на ділянці літосфери;

a - параметр, що характеризує можливу верхню границю затрат теплоенергетичних ресурсів клімату на процес випаровування.

Значення параметра n знаходяться в межах 1,0...3,0; a параметр $a=0...0,3$.

Ґрунт є трифазною системою, до складу якої входять тверда, рідка й газоподібна частина. Тверда частина ґрунту й волога знаходяться в постійній взаємодії, що обумовлено силами різної природи й величини. Результати цієї взаємодії характеризують основні водні властивості ґрунтів: здатність утримувати воду різних категорій й форм (вологоємність), здатність поглинати воду й пропускати її (водопроникність) та здатність віддавати частину води шляхом вільного стікання (водовіддача).

Важливою агрогідрологічною характеристикою ґрунтів є їх вологоємність – властивість ґрунтів вмщувати або утримувати певну кількість води в порах. За характером зв'язку води з твердим середовищем розрізняють такі вологоємності:

- максимальна адсорбційна вологоємність – найбільша кількість води, яку ґрунт може міцно зв'язати в результаті явища адсорбції;

- максимальна гігроскопічна вологоємність – найбільша кількість пароподібної вологи, яку повітряно-сухий ґрунт може поглинути із повітря, дорівнює 94%;

- найменша вологоємність – найбільша кількість підвішеної води незалежно від механізму утримання вологи, яка може утримуватися в верхній частині товщі ґрунту після вільного стікання води, при глибокому заляганні підземних вод. Величина найменшої вологоємності визначається механічним складом ґрунтів. В пісках її величина дорівнює 3...5%, в супісках - 10...15%, в суглинках та глинах - 15...30%;

- капілярна вологоємність – кількість вологи в ґрунті, що утримується капілярними силами на певній відстані від рівня ґрунтових вод. Величина її змінна і залежить від висоти розміщення даного шару ґрунту над дзеркалом підземних вод;

- максимальна капілярна вологоємність – найбільша кількість води, яка утримується в ґрунті капілярними силами над дзеркалом підземних вод;

- повна вологоємність – найбільша кількість води, яка може вміститися в ґрунті за умови повного заповнення всіх пор і пор, за винятком зайнятих стиснутим повітрям.

Існує взаємозв'язок балансових елементів з водофізичними властивостями ґрунтів, який в диференціальній формі апроксимується рівнянням

$$d\beta_z = r V^{r-1} (1 - \beta_z^n)^{(n+1)/n} dV, \quad (5.11)$$

де V – відносна вологість ґрунтів, яка виражена їх агрогідрологічною константою найменшою вологоємністю;

r – параметр, який характеризує водофізичні властивості ґрунтів та знаходиться в межах 1,1...3,0; при цьому меншими значеннями характеризуються піщані, а більшими – глинисті ґрунти.

За результатами інтегрування рівняння (5.11) отримують залежність

$$\beta_z = (1 + V^{rn})^{-1/n}. \quad (5.12)$$

Величина найменшої вологоємності метрового шару ґрунтів в залежності від механічного складу змінюється в таких межах: глинисті та суглинисті 300...400 мм, легкосуглинисті 200...300 мм, сушіщані 100...200 мм, піщані 60...100 мм.

Результати чисельного за залежністю (5.12) й картографічного моделювання дозволяють оцінити якість водного режиму ґрунтів та прогнозувати їх стан при зміні надходжень ресурсів тепла й вологи до літосфери. Характеристика середньої за рік багаторічної вологості метрового шару ґрунту як частки найменшої вологоємності в природних умовах без суттєвого впливу антропогенних факторів наведена на рис. 5.3.

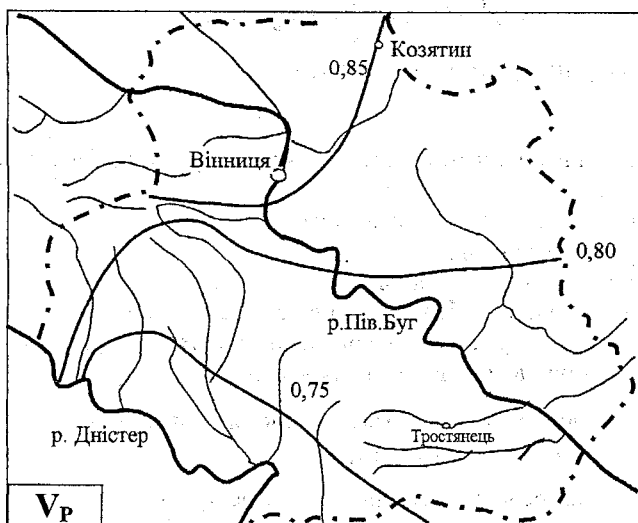


Рисунок 5.3 – Середня за рік багаторічна вологість ґрунту як частка найменшої вологоємності

Значення середньої багаторічної місячної вологості метрового шару ґрунту як частки від найменшої вологосмності для деяких пунктів Вінницької області наведені в табл. 5.4.

Таблиця 5.4 – Середня місячна вологість метрового шару ґрунту як частки від найменшої вологосмності

Пункт	Місяці							
	квітень	травень	червень	липень	серпень	вересень	жовтень	листопад
Вінниця	1,08	0,93	0,84	0,76	0,72	0,70	0,73	0,81
Гайсин	1,13	0,98	0,79	0,69	0,62	0,59	0,63	0,76
Жмеринка	1,06	0,93	0,80	0,71	0,66	0,65	0,68	0,77
Козятин	1,16	1,00	0,83	0,74	0,69	0,66	0,70	0,80
Крижопіль	1,08	0,93	0,81	0,72	0,64	0,61	0,64	0,73
Липовець	1,13	0,98	0,83	0,72	0,67	0,65	0,69	0,78
Хмільник	1,14	0,99	0,84	0,75	0,71	0,69	0,73	0,82
Уладівка	1,16	1,01	0,85	0,77	0,73	0,70	0,72	0,82

Оцінювання якості ґрунтів та прогнозування їх стану за сольовим режимом є складною задачею. Для випадку, коли солі рухаються лінійно вздовж осі x з постійною швидкістю фільтрації ($V_0 = \text{const}$) та незалежності інтенсивності розчинення солей, що в твердій фазі ґрунту, від їх об'єму та поверхні рівняння руху солей має вигляд

$$\frac{\partial n}{\partial t} = D \frac{\partial^2 n}{\partial x^2} - V_B \frac{\partial n}{\partial x} + \beta(n_m - n), \quad (5.13)$$

де n - концентрація ґрунтового розчину;

t - час;

x - відстань;

V_B - фактична швидкість руху води в порах ґрунту, що дорівнює $V_B = V_0/m$;

m - прозорість;

n_m - гранична концентрація насичення;

β - коефіцієнт розчинення;

D - коефіцієнт фільтраційної дифузії.

Рішення рівняння (5.13) при різних вихідних даних дозволяє виявити характер засолення ґрунтів під впливом антропогенних факторів з метою розроблення заходів для поліпшення їх якості.

5.4 Моделювання умов тепловологозабезпечення верхнього шару літосфери

Основне джерело теплоенергетичних ресурсів клімату – променева енергія Сонця, що перетворюється верхнім шаром літосфери в теплову, яка обумовлює фазові перетворення води, хімічні та біологічні процеси. На Землі утворилася повна співмірність ресурсів тепла й вологи, яка у відповідності з математичною інтерпретацією процесу тепловологообміну хара-

ктеризується рівністю середніх багаторічних опадів KX_p і водного еквівалента теплоенергетичних ресурсів сумарного випаровування Z_{mp} , тобто

$$KX_p / Z_{mp} = 1. \quad (5.14)$$

Внаслідок того, що теплоенергетичні ресурси клімату більші теплоенергетичних ресурсів процесу сумарного випаровування, при оптимальній тепловологозабезпеченості верхнього шару літосфери справедлива умова

$$H_0 / Z_{k0} = Z_{m0} / Z_{k0} > 1. \quad (5.15)$$

де $H_0 = V_0^n Z_m$ - сумарне зволоження за оптимальних умов;

Z_{k0} - водний еквівалент теплоенергетичних ресурсів клімату за оптимальних умов;

Z_{m0} - водний еквівалент теплоенергетичних ресурсів сумарного випаровування за оптимальних умов;

V_0 - відносна оптимальна вологість ґрунтів як частка від найменшої вологості.

При оптимальних умовах зволоження рівняння водного балансу верхнього шару літосфери має вигляд

$$H_0 = Z_0 + Y_0, \quad (5.16)$$

де Z_0, Y_0 - величини, відповідно, сумарного випаровування та стоку за оптимальних умов зволоження.

Рівняння водного балансу (5.16) можна представити у вигляді

$$H_0 / Z_{m0} = Z_0 / Z_{m0} + Y_0 / Z_{m0} = 1, \quad (5.17)$$

$$H_0 / Z_{k0} = Z_0 / Z_{k0} + Y_0 / Z_{k0} = \alpha. \quad (5.18)$$

Тоді між значеннями величин відносного сумарного зволоження ($\delta_{H0} = H_0 / Z_{k0}$ і $\beta_{H0} = H_0 / Z_{m0}$) буде залежність

$$\delta_{H0} = \beta_{H0} - (1 - \alpha_0). \quad (5.19)$$

З рівнянь (5.17), (5.18) витікає, що оскільки при оптимальних умовах зволоження $H_0 = Z_{m0} = Z_0 + Y_0$, то

$$(Z_0 + Y_0) Z_{k0} = H_0 / Z_{k0} = Z_{m0} / Z_{k0}, \quad (5.20)$$

$$\delta_{Z0} + \delta_{Y0} = \delta_{H0} = Z_{m0} / Z_{k0} = \alpha_0, \quad (5.21)$$

$$\beta_{H0} = 1 / \beta_{H0} - \delta_{H0} = 1, \quad (5.22)$$

$$\delta_{H0}^2 + \delta_{H0} = 1. \quad (5.23)$$

Рівняння (5.23) має два кореня: $(\sqrt{5} - 1)/2$ та $(-\sqrt{5} - 1)/2$. Позитивний корінь цього рівняння є величиною зворотною "золотій пропорції" $1/x = 0,618$ при $x = 1,618$.

В природі існує повна гармонія як співмірність частин цілого й єдиного, злиття різних компонентів перетворення теплоенергетичних і водних

ресурсів в єдине ціле. Оскільки в гармонії отримується зовнішнє проявлення внутрішньої впорядкованості, то доля теплоенергетичних ресурсів клімату, що використовується на процес теплового обміну в оптимальних умовах також характеризується величиною "золотої пропорції"

$$x = 1 + \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\varphi_p(n-p-1)}{\varphi_p(n-1)}, \quad (5.24)$$

де φ_p - значення числа ряду Фібоначчі;

p - параметр, що визначає закон зв'язку кожного наступного числа ряду n з попереднім.

Тоді відношення між теплоенергетичними ресурсами клімату й сумарним зволоженням за оптимальних умов теплового забезпечення

$$1/x_0 = Zk_0/H_0 = Zk_0/Zm_0 = 1 + \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\varphi_p(n-p-1)}{\varphi_p(n-1)}. \quad (5.25)$$

Багаторазові експериментальні дані свідчать, що при $p = 1$ співвідношення між теплоенергетичними ресурсами й сумарним зволоженням за оптимальних умов теплового забезпечення $1/x_0 = 1,618$.

Результати чисельного моделювання умов теплового забезпечення верхнього шару літосфери наведені в табл. 5.5 – 5.7.

Таблиця 5.5 – Середні багаторічні значення відносних сумарного зволоження β_H та сумарного випаровування β_Z в м. Вінниці

Показник	Місяці								За рік
	квітень	травень	червень	липень	серпень	вересень	жовтень	листопад	
β_H	1,18	0,96	0,77	0,66	0,61	0,59	0,62	0,73	0,80
β_Z	0,85	0,78	0,68	0,61	0,57	0,55	0,58	0,66	0,68

Таблиця 5.6 - Середні багаторічні дефіцити сумарного зволоження

$$\Delta H = H - V_0^n Zm \quad \text{в м. Вінниці, мм}$$

Оптимальний рівень зволоження	Місяці						За рік
	квітень	травень	червень	липень	серпень	вересень	
$V_0 = 1$	23	50	63	66	57	41	186
$V_0 = 0,9$	12	33	43	45	38	28	68

Таблиця 5.7 – Дефіцити сумарного зволоження в м. Вінниці за період травень – серпень в роки різної забезпеченості при $V_0 = 1$, мм

р% забезпеченості	10	20	50	80	90
Дефіцит сумарного зволоження	245	207	136	66	27

Аналіз просторово-часового розподілу показників зволоження (табл. 5.5 – 5.7) свідчить, що в результаті взаємодії теплоенергетичних і

водних ресурсів є значні відхилення природних умов зволоження ґрунтів від оптимальних. Установлені за результатами моделювання умов тепловологозабезпечення верхнього шару літосфери кількісні та якісні значення цих диспропорцій дозволяють виконати достовірну характеристику умов формування специфічних умов довкілля й намітити раціональні шляхи їх перетворення з метою оптимізації.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ДЛЯ ПЕРЕВІРКИ ЗНАТЬ

1. Дайте означення літосфери та ґрунту.
2. Охарактеризуйте фізичні та хімічні властивості ґрунтів.
3. Наведіть класифікацію ґрунтів за механічним складом.
4. Яка структура земельного фонду України?
5. Наведіть основні причини деградації та забруднення ґрунтів.
6. Поясніть суть моніторингу земель.
7. За якими інгредієнтами виконують спостереження за забрудненням ґрунтів?
8. Норми гранично допустимого вмісту пестицидів.
9. Розкрийте суть теплоенергетичного балансу клімату.
10. Наведіть рівняння водного балансу ділянки літосфери.
11. Охарактеризуйте зв'язок теплоенергетичного й водного балансу ділянки землі.
12. Прогнозування вологості активного шару ґрунтів.
13. Водосольовий режим ґрунтів та його прогнозування.
14. Розкрийте суть моделювання умов тепловологозабезпечення верхнього шару літосфери.

6 МОНИТОРИНГ РАДІАЦІЙНОЇ НЕБЕЗПЕКИ

6.1 Основні джерела радіаційного забруднення

Мірою ризику втрати здоров'я є величина сумарної дози опромінення від усіх джерел. Не має значення від якого джерела людина отримує опромінення: за рахунок γ -фону, медичних процедур, радону чи аварійних ситуацій. В залежності від стану імунної системи особистості залежить величина ефективної дози опромінення, при якій збільшується ризик втрати здоров'я. Внесок різних джерел випромінювання в колективну дозу опромінення населення України протягом 70 років із урахуванням Чорнобильської складової подано на рис.6.1. 30% реалізації ефективних доз опромінення за рахунок аварії на ЧАЕС було отримано людьми, які ліквідували наслідки аварії і де була забруднена територія протягом перших 30 діб. За наступні 30 діб приріст ефективних доз опромінення збільшився ще на 7,8%. За наступні 10 місяців аварійне опромінення було 9,5%, за другий рік – 5,2%, за третій – 5,3%.

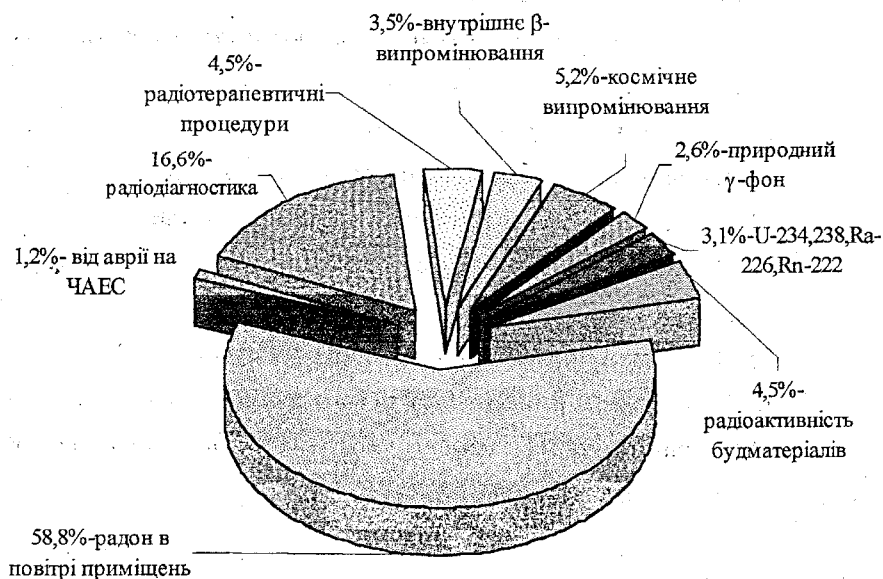


Рисунок 6.1 – Внесок в колективну дозу опромінення населення України від можливих джерел протягом 70 років із урахуванням аварії на ЧАЕС

Космічне випромінювання складається з галактичного та сонячного, яке змінюється залежно від активності процесів на Сонці та в його надрах. Енергія космічного випромінювання порівняно з іншими досить мала біля поверхні Землі, але в межах стратосфери, іоносфери та екзосфери її значення в опроміненні дуже зростає. Це випромінювання складається з протонів і важких ядерних часток з дуже великою енергією. Частина цієї енергії витрачається на зіткнення з ядрами атмосферного азоту, кисню, аргону, в результаті чого на висотах близько 20 км виникає вторинне високе енергетичне світіння. Оскільки інтенсивність космічного опромінення з висотою зростає, екіпажі літаків і пасажери, які часто літають на висотах 8... 11 км, з часом одержують досить значні дози радіації (за 2 години польоту більше ніж за тиждень на земній поверхні). Кожен житель планети в середньому від космічного опромінення протягом року одержує радіаційну дозу близько 300 мкЗв (0,03 Бер).

Одним із основних джерел опромінення є дози, які отримує людина від техногенних джерел радіації: медичні процедури та методи лікування, що зв'язані із застосуванням радіоактивності. Радіація використовується в медицині з діагностичною метою та для лікування. Нові складні діагностичні методи ґрунтуються на використанні радіоізотопів. Радіоізотопи використовуються для дослідження різних процесів, що відбуваються в організмі, і для локалізації пухлин.

Земних природних джерел випромінювання нині налічується близько 60, зокрема 32 - урано-радієвої та торієвої групи, 11 - з груп інших довгоіснуючих радіонуклідів, таких, як калій-40, рубідій-87 та ін.

Рівні земної радіації неоднакові для різних місць земної кулі і залежать від концентрації радіонуклідів на різних дільницях кори.

Суттєве радіаційне опромінення населення України отримує за рахунок радонової складової. Це обумовлено тим, що 60% території нашої держави розміщено на українському кристалічному щиті, де знаходяться поклади граніту з високою концентрацією радіонуклідів. За оцінками Наукового комітету дії атомної радіації (НКДАР) ООН радон із своїми дочірніми продуктами розпаду відповідає приблизно 3/4 річної індивідуальної ефективної еквівалентної дози опромінення, яку отримує населення від земних джерел радіації та приблизно половину цієї дози людина отримує від радіонуклідів, які потрапляють в його організм разом з повітрям, що вдихає, особливо в непровітрюваному приміщенні.

Радон концентрується в повітрі приміщень лише тоді, коли вони ізолювані від зовнішнього середовища. Надходить в приміщення такими шляхами:

- просочується через фундамент та підлогу ґрунту;
- звільняється із будівельних матеріалів;
- надходить разом із зовнішнім повітрям в результаті вентиляції;
- завітряється разом з природним газом та водою.

На величину концентрації радону в повітрі житлових будівель України впливають: геологічні особливості території; планувально-архітектурне рішення будинків; кліматичні аспекти регіонів (температура, тиск, напрямок вітру); особливості поведінки та уклад життя населення, яке визначає режими вентиляції приміщення.

Будівельні матеріали виготовляються з природної сировини, яка включає до свого складу природні радіонукліди (радій-226, торій-232, калій-40), які є джерелом зовнішнього гамма-випромінювання в будинках. З іншого боку, при розпаді радію-226 виділяється радіоактивний газ радон-222, який поступає в повітря приміщень. В сумі ці два джерела вносять до 65% в загальну дозу опромінення населення України. Тому з'являється необхідність прогнозування рівнів радіаційних параметрів, щоб уникнути можливих екологічних та економічних наслідків.

6.2 Алгоритм моніторингу радіаційного фактора

За наявністю в Україні нормативної бази зменшення рівнів іонізуючих випромінювань природних радіонуклідів в будівництві фактично відсутня методика оптимізації організаційно-технічних заходів для зменшення доз опромінювання. В реальних умовах будівництва та експлуатації об'єктів житлово-цивільного та промислового призначення доза опромінення населення визначається регламентованими радіаційними параметрами:

- ефективна сумарна питома активність природних радіонуклідів (ПРН) радію-226, торію-232, калію-40 в сировині та будівельних матеріалах (Бк/кг, Беккерель на кілограм) і визначається із виразу

$$A_{\text{еф}} = A_{\text{Ra}} + 1,31A_{\text{Th}} + 0,085 A_{\text{K}}, \quad (6.1)$$

де A_{Ra} , A_{Th} , A_{K} – питома активність радію-226, торію-232, калію-40, відповідно;

- 1,31 і 0,085 – вагові коефіцієнти для торію-232 і калію-40 по відношенню до радію-226;

- потужність поглиненої дози (ППД) зовнішнього гамма-випромінювання в повітрі приміщень (мкГр/год, мікрогрей за годину), норма – 30 мкР/год;

- середньорічна еквівалентна рівноважна об'ємна активність (ЕРОА) радону-222 (Бк/м³, Беккерель в кубічному метрі повітря приміщення), норма – 50 Бк/м.

З урахуванням аналізу зарубіжного та вітчизняного досвіду зниження радіаційної небезпеки в будівництві та характеру об'єкта програма дослідження включає:

- збір та систематизацію даних про регламентовані радіаційні параметри на регіональному рівні;

- експериментальні дослідження еквівалентної рівноважної об'ємної активності радону-222 в приміщеннях житлово-цивільного призначення в

різних природно-географічних умовах з різноманітними архітектурно-планувальними та інженерно-технологічними рішеннями на регіональному та локальному рівнях;

- вивчення закономірностей формування концентрацій радону-222 в повітрі приміщень;

- наукове обґрунтування методик оптимізації системи прийняття організаційно-технологічних рішень для зменшення радіаційної небезпеки;

- розробку організаційно-технологічних заходів щодо зменшення радіаційної небезпеки та їх техніко-економічний аналіз.

Складність проблеми менеджменту захисту населення від радіаційної небезпеки, що включає планування й організаційно-технологічне проектування на основі відповідних критеріїв прийняття рішень і реалізацію протирадіаційних заходів під час будівництва та експлуатації, потребує створення системи моніторингу. Моніторинг радіаційної небезпеки повинен бути сигнальним, цільовим та комплексним (рис. 6.2). Завдання сигнального моніторингу інформувати про необхідність детальних спостережень за територією чи певним об'єктом. Цільовий моніторинг повинен забезпечувати спостереження за станом найбільш радіаційно небезпечних об'єктів та територій (житловий фонд, громадські приміщення, підприємства харчової промисловості тощо). При комплексному моніторингу здійснюється постійний та повний контроль стану радіаційної небезпеки території.

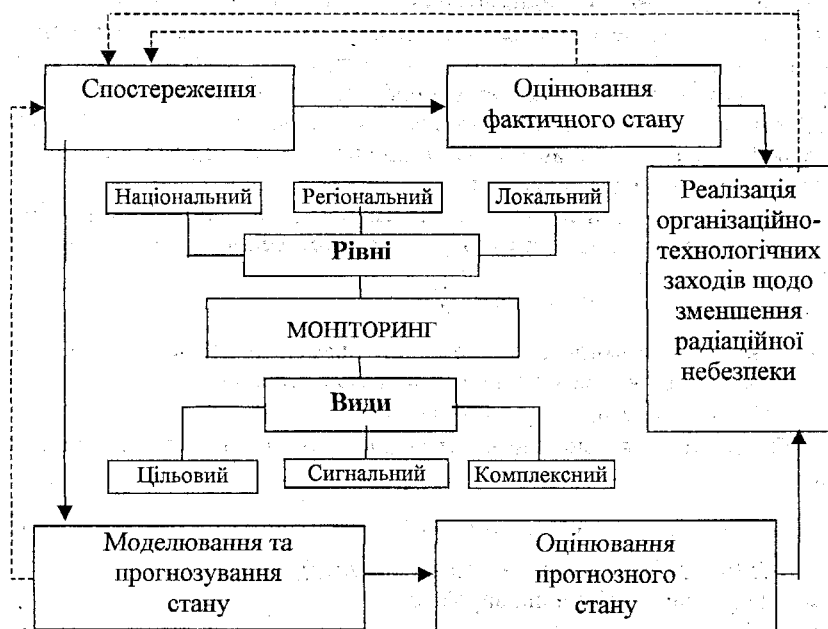


Рисунок 6.2 - Блок-схема системи моніторингу радіаційного стану

Моніторинг радіаційної небезпеки є складовою частиною управління екологічним станом навколишнього середовища урбанізованих територій та включає систему спостережень, контролю, прогнозування й керування екологічними процесами. Він містить програмний комплекс, що об'єднаний в систему постійно діючих моделей, в якому зміни стану однієї з природних сфер або технічного навантаження відображається у вигляді ідентифікованої реакції об'єкта, яким керують. Моніторинг радіаційної небезпеки потребує постійного накопичення та декомпозиції бази даних про регламентовані радіаційні параметри для будівельної галузі.

Структурно-алгоритмічна модель моніторингу радіаційного фактора з врахуванням ефективності сумарної питомої активності радіонуклідів будівельних матеріалів ($A_{\text{сф}}$) та середньорічної еквівалентної рівноважної активності радону-222 ($R_{\text{ф}}$), що вносять найбільш суттєвий внесок в опромінення населення України наведена на рис. 6.3.

6.3 Моделювання рівнів радононебезпеки

Прогнозування радононебезпеки в залежності від факторів, що впливають на цей процес, повинно ґрунтуватися на основі експертних оцінок, які мають якісний характер. З метою створення експертно-моделюючої системи для багатофакторного аналізу процесу накопичення радону-222 в приміщенні використано математичний апарат, що базується на теорії нечіткої логіки. Цей метод як взаємозв'язана сукупність математичних моделей, алгоритмів й формалізованих методик дозволяє використовувати експертно-лінгвістичну інформацію для прогнозування радононебезпеки в залежності від факторів, що її обумовлюють. Для встановлення ієрархічних зв'язків факторів, що впливають на величину ЕРОА радону-222 в приміщенні, побудовано дерево логічного висновку (рис. 6.4).

Розглядаючи цей процес на системному рівні, лінгвістичну змінну (ЛЗ) C_R , що описує кількість радону-222 в приміщенні, представлено у вигляді співвідношення

$$C_R = f(X, Y, Z), \quad (6.2)$$

де X - лінгвістична змінна (ЛЗ), що описує природно-географічні фактори;

Y - ЛЗ, що описує архітектурно-планувальні рішення;

Z - ЛЗ, що описує інженерно-технологічні рішення.

ЛЗ, що описує природно-географічні фактори, представлена співвідношенням

$$X = f_x(x_1, x_2, x_3, x_4), \quad (6.3)$$

де x_1 - ЛЗ (швидкість ексхалляції радону з ґрунту);

x_2 - ЛЗ (наявність гірничих виробіток);

x_3 - ЛЗ (наявність і характеристика ґрунтових вод);

x_4 - ЛЗ (геоморфологічна характеристика рельєфу).

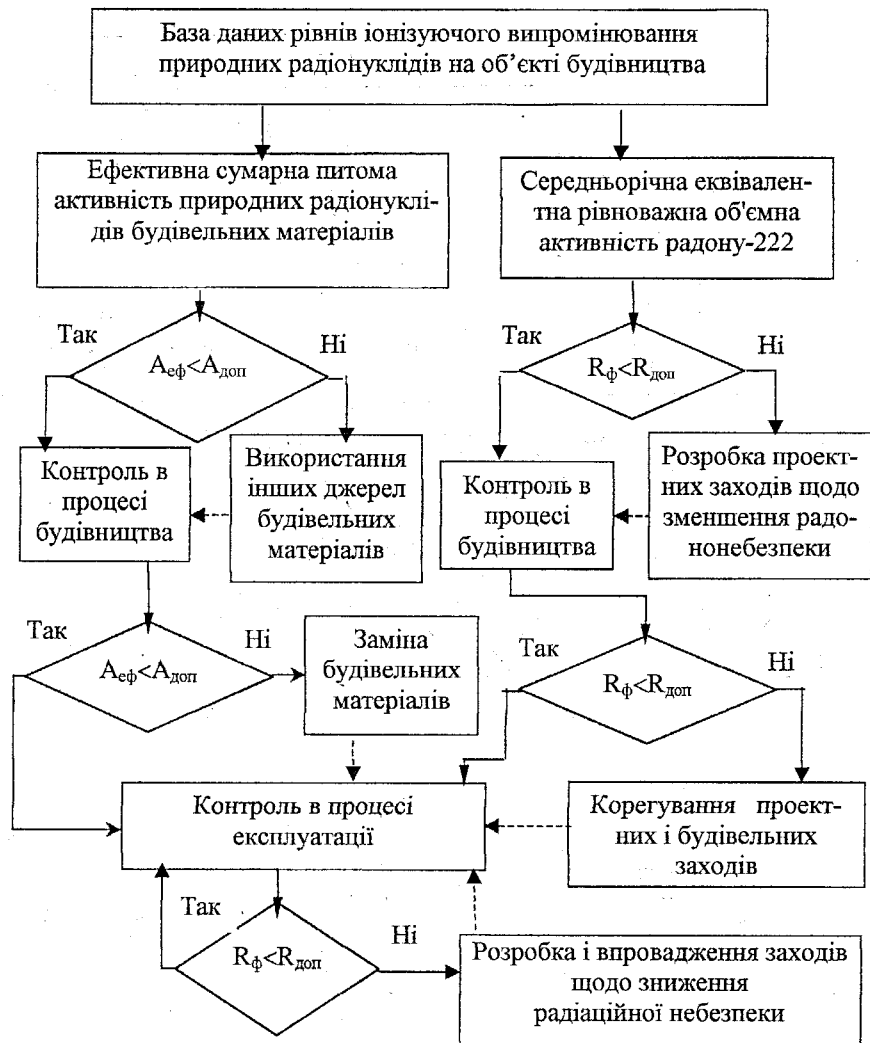


Рисунок 6.3 - Структурно-алгоритмічна модель моніторингу радіаційного фактора

Оцінювання значень лінгвістичних змінних, які наведені в співвідношеннях (6.2) - (6.3), проводиться за допомогою системи якісних термінів: Н - низький; нС - нижче середнього; С - середній; вС - вище середнього; В - високий. Кожний з цих термінів становить відповідну нечітку множину, тобто деяку властивість, яка розглядається як лінгвістичний терм. Для лінгвістичних змінних оціночні терми наведені в табл. 6.1.

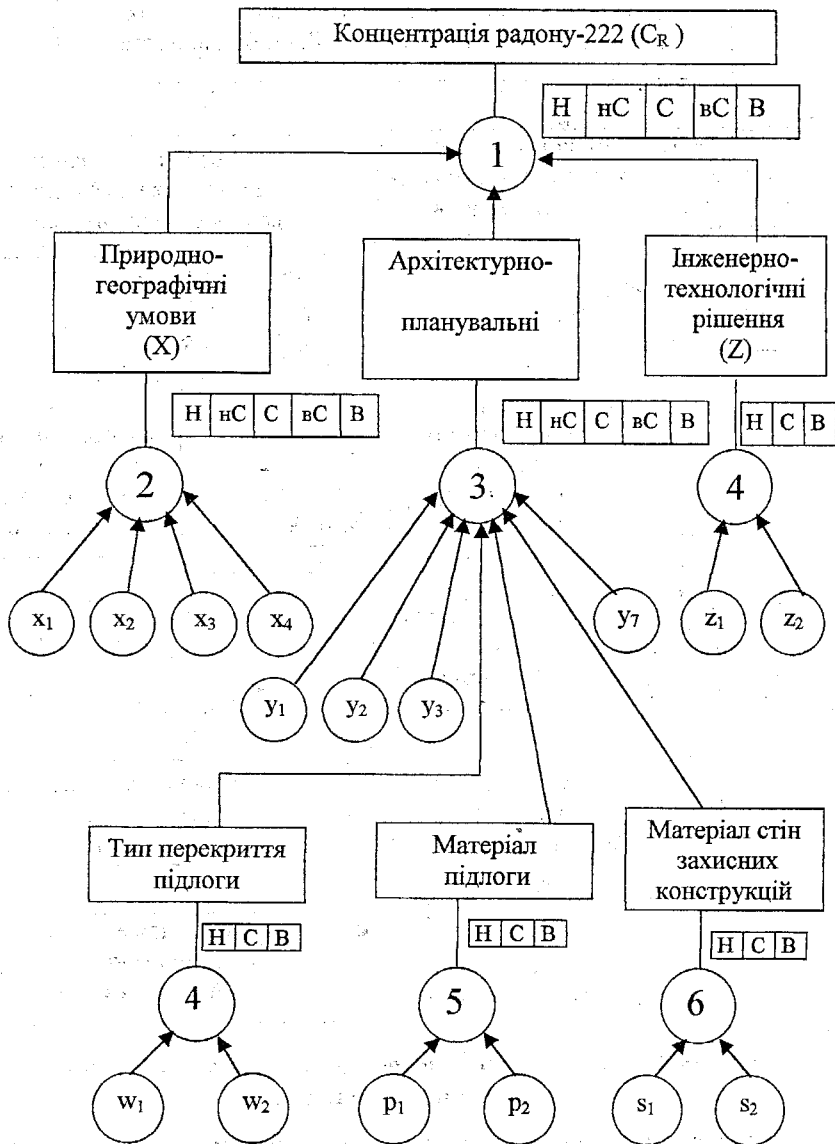


Рисунок 6.4 - Дерево логічного висновку ісрархічних зв'язків факторів, що впливають на прийняття організаційно-технологічних рішень для зменшення радононебезпеки

Таблиця 6.1 - Фактори впливу як лінгвістичні змінні

Позначення та назва змінної	Універсальна	Терми для оцінки
x_1 - швидкість ексалації радону з ґрунту	0...200 Бк/(м ² ·с)	Низька, менше середньої, середня, більше середньої, висока
x_2 - наявність гірничих виробіток	(1...3) у.о.	Відсутні, часткові, значні
x_3 - наявність і характеристика ґрунтових вод	(1...3) у.о.	Глибокого залягання, середнього залягання, високого залягання
x_4 - геоморфологічна характеристика рельєфу	(1...3) у.о.	Низька, середня, висока
y_1 - характер інженерного освоєння території	0...20%	Низький, середній, високий
y_2 - розміри будівлі в плані	50...200 м ²	Мала, середня, велика
y_3 - наявність підвалу під кімнатою	0...100%	Відсутній, частково, повністю
w_1 - товщина перекриття	0,1 ... 0,4 м	Мала, середня, велика
w_2 - коефіцієнт еманції радону в матеріалі перекриття	1 ... 30%	Малий, середній, високий
p_1 - товщина матеріалу підлоги	0,01 ... 0,10 м	Мала, середня, велика
p_2 - коефіцієнт дифузії радону для матеріалу підлоги	1 ... 1,3·10 ⁶	Малий, середній, високий
s_1 - ефективна питома активність радія-226 для матеріалу стін	0,04 ... 7 Бк/кг	Низька, середня, висока
s_2 - коефіцієнт еманції радону для матеріалу стін	1 ... 30%	Малий, середній, високий
y_7 - коефіцієнт дифузії радону для будівельних матеріалів оздоблення стін	1 ... 1,3·10 ⁶	Малий, середній, високий
z_1 - кратність повітрообміну	0 ... 100 м ³ /год	Низька, середня, висока
z_2 - тиск в приміщенні	720...780 мм.рт.ст	Менше норми, норма, більше норми

Одним з джерел інформації для розробки експертно-моделюючої системи прийняття організаційно-технологічних рішень (ОТР) щодо зменшення радіаційної небезпеки в будівництві є експертні оцінки, які мають якісний характер і доступні проєктувальникам. Метод побудови функцій належності передбачає фазифікацію нечітких оцінок факторів впливу. Етап фазифікації вкючає вибір нечітких термів для лінгвістичного оцінювання факторів впливу, що заданий на відповідних універсальних множинах.

Нечітка множина, за допомогою якої формалізується терм \tilde{S} , визначається із залежності

$$\tilde{S} = \left\{ \frac{\mu_s(u_1)}{u_1}, \frac{\mu_s(u_2)}{u_2}, \dots, \frac{\mu_s(u_n)}{u_n} \right\}, \quad (6.4)$$

де $\{u_1, u_2, \dots, u_n\} = U$ - універсальна множина, на якій задається нечітка множина $S \in U$;

$\mu_s(u_i)$ - ступінь належності елемента $u_i \in U$ до нечіткої множини \tilde{S} .

Невідому функцію належності складає сукупність значень $\mu_s(u_i)$ для всіх $i = \overline{1, n}$, яку необхідно визначити. Метод розв'язання цієї задачі базується на ідеї розподілу ступенів належності універсальної множини згідно з їх рангами. Під рангами елемента $u_i \in U$ розуміється число $r_s(u_i)$, яке характеризується значимістю цього елемента у формуванні властивості, що описується нечітким термом \tilde{S} . При цьому виконується припущення, що чим більше ранг елемента, тим більше ступінь його належності.

Наприклад. Фактор x_1 - швидкість ексхаляції радону-222 з ґрунту

$$U(x_1) = [0, 200] \text{ Бк/м}^3.$$

Для лінгвістичного оцінювання фактора x_1 використовується термножина: $T(x_1) = \langle \text{низька, менше середнього, середня, більше середнього, висока} \rangle$.

Матриця, що відображає парні порівняння різних величин швидкостей з точки зору їх близькості до терма "низька", має вигляд

$$A_{\text{низька}}(x_1) = \begin{array}{c|ccccc} & u_1 & u_2 & u_3 & u_4 & u_5 \\ \hline u_1 & 1 & 7/9 & 5/9 & 3/9 & 1/9 \\ u_2 & 9/7 & 1 & 5/7 & 3/7 & 1/7 \\ u_3 & 9/5 & 7/5 & 1 & 3/5 & 1/5 \\ u_4 & 9/3 & 7/3 & 5/3 & 1 & 1/3 \\ u_5 & 9 & 7 & 5 & 3 & 1 \end{array} \quad (6.5)$$

До матриці $A_{\text{низька}}(x_1)$, отримуємо ступені належності елементів $u_1 \dots u_5$ до терма "низька":

$$\mu_{\text{низька}}(u_1) = \frac{1}{1 + \frac{7}{9} + \frac{5}{9} + \frac{3}{9} + \frac{1}{9}} = 0,36;$$

$$\mu_{\text{низька}}(u_2) = \frac{1}{\frac{9}{7} + 1 + \frac{5}{7} + \frac{3}{7} + \frac{1}{7}} = 0,28;$$

$$\mu_{\text{низька}}(u_3) = \frac{1}{\frac{9}{5} + \frac{7}{5} + 1 + \frac{3}{5} + \frac{1}{5}} = 0,20;$$

$$\mu_{\text{низька}}(u_4) = \frac{1}{\frac{9}{3} + \frac{7}{3} + \frac{5}{3} + 1 + \frac{1}{3}} = 0,12;$$

$$\mu_{\text{низька}}(u_5) = \frac{1}{9 + 7 + 5 + 3 + 1} = 0,04.$$

Отримані результати функцій належності пронормовані на одиницю шляхом ділення на найбільший ступінь належності. В результаті цього різні швидкості ексхаляції радону-222 представлені у вигляді таких нечітких множин:

- швидкість ексхаляції радону-222 "низька"

$$= \left\{ \frac{1}{0}, \frac{0,78}{50}, \frac{0,56}{100}, \frac{0,33}{150}, \frac{0,11}{200} \right\};$$

- швидкість ексхаляції радону-222 "менше середньої"

$$= \left\{ \frac{0,69}{0}, \frac{1}{50}, \frac{0,69}{100}, \frac{0,34}{150}, \frac{0,17}{200} \right\};$$

- швидкість ексхаляції радону-222 "середня"

$$= \left\{ \frac{0,56}{0}, \frac{0,81}{50}, \frac{1}{100}, \frac{0,81}{150}, \frac{0,56}{200} \right\};$$

- швидкість ексхаляції радону-222 "більше середньої"

$$= \left\{ \frac{0,16}{0}, \frac{0,44}{50}, \frac{0,84}{100}, \frac{1}{150}, \frac{0,72}{200} \right\};$$

- швидкість ексхаляції радону-222 "висока"

$$= \left\{ \frac{0,11}{0}, \frac{0,33}{50}, \frac{0,56}{100}, \frac{0,78}{150}, \frac{1}{200} \right\}.$$

Отримані нечіткі множини свідчать про те, що на концентрацію радону-222 впливають швидкість ексхаляції радону з ґрунту за таким рейтингом: 200 Бк/м³ - на першому місці за впливом; 150 Бк/м³ - на другому; 100 Бк/м³ - на третьому, 50 Бк/м³ - на четвертому, 0 - на п'ятому.

Нечіткі множини можна описати за допомогою графіка, який наведений на рис. 6.5 .

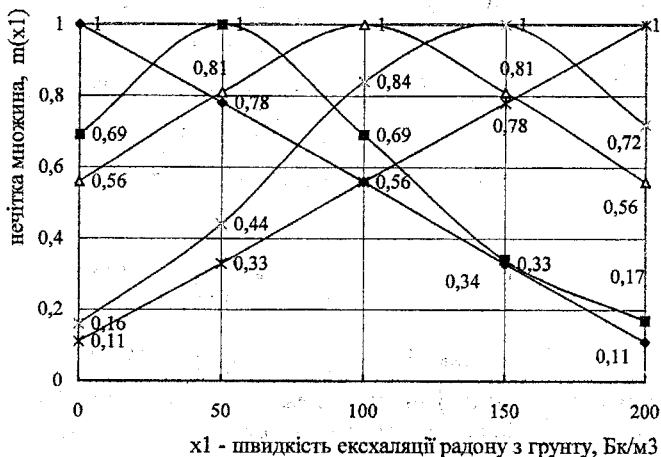


Рисунок 6.5 – Функції належності для ЛЗ (швидкість ексхалляції радону з ґрунту)

Для моделювання системи прийняття організаційно-технологічних рішень щодо зменшення радонебезпеки, що передбачає прогнозування рівнів радіаційного забруднення за відомим значеннями факторів впливу, використовуються нечіткі логічні рівняння. Ці рівняння зв'язують функції належності різних рівнів вхідних та вихідних змінних, що наведені на дереві логічного висновку (рис. 6.4). Кожному нечіткому логічному рівнянню передують база знань у вигляді експертних висловлювань про зв'язки нечітких термів вхідних та вихідних лінгвістичних змінних у співвідношеннях (6.2) – (6.3).

Моделювання системи прийняття організаційно-технологічних рішень на системному рівні

Оцінювання рівнів лінгвістичних змінних, що встановлює зв'язок між концентрацією радону-222 в приміщенні (C_R) з природно-географічними (X), архітектурно-планувальними (Y) та інженерно-технологічними (Z) параметрами, виконується з використанням системи терм-множини:

$T(C_R)$ = < низька, нижче середньої, середня, вище середньої, висока >;

$T(X)$ = < низькі, нижче середніх, середні, вище середніх, високі >;

$T(Y)$ = < низькі, нижче середніх, середні, вище середніх, високі >;

$T(Z)$ = < низькі, середні, високі >.

Нечітка матриця знань з врахуванням введених якісних терм для моделювання залежності (6.2) наведена в табл. 6.2.

Таблиця 6.2 - Матриця знань для залежності (6.2)

ЯКЩО			ТО
природно-географічні умови (X)	архітектурно-планувальні рішення (Y)	інженерно-технологічні рішення (Z)	концентрація радону-222 (C _R)
Низькі (Н)	Низькі (Н)	Низькі (Н)	Низька (Н)
Нижче середніх (нС)	Низькі (Н)	Низькі (Н)	
Низькі (Н)	Нижче середніх (нС)	Низькі (Н)	
Нижче середніх (нС)	Нижче середніх (нС)	Середні (С)	Нижче середньої (нС)
Середні (С)	Нижче середніх (С)	Низькі (Н)	
Нижче середніх (нС)	Середні (С)	Середні (С)	
Нижче середніх (нС)	Середні (С)	Середні (С)	Середня (С)
Середні (С)	Середні (С)	Середні (С)	
Середні (С)	Низькі (Н)	Високі (В)	
Вище середніх (вС)	Вище середніх (вС)	Вище середніх (вС)	Вище середньої (вС)
Середні (С)	Вище середніх (вС)	Високі (В)	
Низькі (Н)	Високі (В)	Високі (В)	
Високі (В)	Високі (В)	Високі (В)	Висока (В)
Високі (В)	Вище середніх (вС)	Високі (В)	
Високі (В)	Високі (В)	Середні (С)	

Лінгвістичним висловлюванням, що наведені в табл.6.2, відповідає система нечітких логічних рівнянь, які характеризують поверхню належності змінних за відповідним термом:

$$\mu_H(C_R) = \mu_H(X) \wedge \mu_H(Y) \wedge \mu_H(Z) \vee \mu_{нС}(X) \wedge \mu_H(Y) \wedge \mu_H(Z) \vee \mu_H(X) \wedge \mu_{вС}(Y) \wedge \mu_H(Z); \quad (6.6)$$

$$\mu_{нС}(C_R) = \mu_{нС}(X) \wedge \mu_{нС}(Y) \wedge \mu_C(Z) \vee \mu_C(X) \wedge \mu_{вС}(Y) \wedge \mu_H(Z) \vee \mu_{нС}(X) \wedge \mu_C(Y) \wedge \mu_C(Z); \quad (6.7)$$

$$\mu_C(C_R) = \mu_{нС}(X) \wedge \mu_C(Y) \wedge \mu_C(Z) \vee \mu_C(X) \wedge \mu_C(Y) \wedge \mu_C(Z) \vee \mu_C(X) \wedge \mu_H(Y) \wedge \mu_B(Z); \quad (6.8)$$

$$\mu_{вС}(C_R) = \mu_{вС}(X) \wedge \mu_{вС}(Y) \wedge \mu_{вС}(Z) \vee \mu_C(X) \wedge \mu_{вС}(Y) \wedge \mu_B(Z) \vee \mu_H(X) \wedge \mu_B(Y) \wedge \mu_B(Z); \quad (6.9)$$

$$\mu_B(C_R) = \mu_B(X) \wedge \mu_B(Y) \wedge \mu_B(Z) \vee \mu_B(X) \wedge \mu_{вС}(Y) \wedge \mu_B(Z) \vee \mu_B(X) \wedge \mu_H(Y) \wedge \mu_C(Z); \quad (6.10)$$

Щоб перейти від одержаної нечіткої множини до кількісного оцінювання концентрації радону-222 в повітрі приміщень, необхідно виконати процедуру дефазифікації, що означає перетворення нечіткої інформації в чітку форму.

6.4 Організаційно-технологічне забезпечення зниження радіаційної небезпеки

З врахуванням факторів, що впливають на величину ЕРОА радону-222 в приміщеннях, існують такі методи для зменшення радононебезпеки:

- формування архітектурно-планувальної структури з врахуванням ландшафтних умов забудови;
- герметизація підпідлогових перекриттів;
- створення підвищеного тиску в приміщеннях;
- підпідлогова вентиляція;
- зменшення тиску в підпіллі.

Формування архітектурно-планувальної структури з врахуванням ландшафтних умов забудови реалізується в період проектування і будівництва. При цьому з врахуванням уточненого вмісту радону-222 в період інженерних вишукувань вибирають та підготовлюють ділянки забудови, розробляють заходи для зменшення вільного виходу радону і зменшення його концентрації безпосередньо під будовою, розробляють технологію виконання земляних робіт у ході інженерного освоєння ділянки з мінімальними величинами обсягів робіт зрізання ґрунту і риття котлованів. У випадку коли ймовірна ЕРОА радону-222 в повітрі підвальних приміщень, що проектується, перевищує 100 Бк/м^3 , то підвали під житловими приміщеннями не передбачаються або планується їх використовувати як приміщення для нетривалого перебування людей.

Герметизація підпідлогових перекриттів досягається повною ізоляцією всіх окремих щілин й місць підведення комунікацій. Неповна ізоляція неефективна, оскільки зменшення сумарних розмірів щілин приводить до збільшення швидкості ексхалції радону. При сприятливих умовах радононебезпека за рахунок герметизації може бути зменшена у двічі.

Суть методу створення підвищеного тиску полягає в підвищенні в приміщеннях тиску до рівня, що перевищує стоковий й поточний ефекти. В будові створюється надлишковий тиск порівняно з атмосферним і градієнт тиску в підлозі спрямовується назовні. Цей метод малоефективний в холодний період року, оскільки великий приплив холодного повітря потребує додаткових енергетичних затрат на опалювання приміщень. Реалізація цього методу дає трикратне зменшення концентрації радону-222 в приміщеннях.

Метод підпідлогової вентиляції полягає в створенні умов для вільної циркуляції зовнішнього повітря через крізнні отвори в стінах при піднятій над землею підлогою. Достатньо високий рівень вентиляційного обміну дозволяє зменшити концентрацію радону до нормативних значень.

Зменшення підпідлогового тиску досягається влаштуванням радонових уловлювачів. Ефективність цього методу залежить від проникності ґрунту або підпідлогового простору і його реалізація технічними засобами дозволяє зменшити вміст радону-222 в повітрі приміщення в 8...20 разів.

На вибір методу зменшення радононебезпеки впливає термін перебування людей в приміщенні та їх архітектурно-планувальне розміщення. Класифікація приміщень за режимом використання людиною та імовірністю накопичення радону і відповідні заходи для зменшення ЕРОА радону-222 наведено на рис. 6.6.



Рисунок 6.6 - Класифікація приміщень за режимом використання людиною та імовірністю накопичення радону і відповідні заходи для зменшення ЕРОА радону-222

Методи для зменшення радононебезпеки реалізуються розробкою протирадонових заходів за основними напрямками:

- максимальне скорочення виділення радону з ґрунту;
- локалізація місць надходження радону-222 в будову;
- зниження різними шляхами концентрації радону-222 в повітрі приміщень;
- зменшення розповсюдження радону-222, що надійшов в приміщення.

Заходи для зменшення радононебезпеки з урахуванням умов і вимог щодо проектування, технічного обладнання і експлуатації приміщень житлово-цивільного й промислового призначення можна поділити на режимно-технологічні й конструктивно-планувальні.

Протирадонові заходи вибирають в залежності від вхідних даних, що визначаються умовами проектування чи експлуатації об'єктів житлово-цивільного та промислового призначення. Класифікація протирадонових заходів в залежності від експертно-лінгвістичної інформації наведена в табл. 6.3 та табл. 6.4.

Таблиця 6.3 - Протирадонові заходи під час проектування

Вхідні дані	Протирадонові заходи	Примітка
1	2	3
Геологічна характеристика	1. Не порушувати цілісності ґрунтів: запобігати великого зрізання ґрунту, риття котлованів, ям і траншей з наступним їх закиданням	Протирадонові заходи застосовуються, якщо швидкість ексхалації перевищує $80 \text{ Бк/м}^2 \cdot \text{с}$
	2. Улаштування захисного приямку вздовж усієї зовнішньої стіни підвалу з зовнішнім входом до підвалу	
	3. Збільшення газонепроникності основи будови шляхом цементизації і силікатизації ґрунтів	
	4. Улаштування дренажів під будівлею: <ul style="list-style-type: none"> - пустотні панелі; - стрічковий дренаж; - дренажні труби 	
	5. Буріння свердловин для виходу радону з місць його концентрації в карстових порожнинах або гірських виробках	
	6. Зниження рівня ґрунтових вод при наявності в них радону або інших радіоактивних речовин	

Продовження таблиці 6.3.

1	2	3
Метеорологічні умови	Провітрювання приміщень: - крізь сходові клітки; - улаштування ефективного наскрізного або кутового природного провітрювання	
Матеріал конструкцій та сировина	Зниження газопроникності	A _{эф} ≤ 370 Бк/кг, внесення різних добавок, застосування відповідних технологій при виготовленні і транспортуванні конструкцій
	Збільшення тріщиностійкості	
	Збільшення капілярності щільності блоків	
Конструктивні особливості будівель	Застосування індивідуальних будов підвищеної поверховості з мінімальною площею забудови	Ізоляція захисних конструкцій, підлоги
	Улаштування вентиляованого цоколю Ізольована сходові клітка, яка не має зв'язку з підвалом і розміщена вздовж зовнішньої стіни та обладнана вентиляційними проїмами з жалюзійними решітками	
	Просторова ізоляція приміщень тривалого перебування	
Характер експлуатації будівель	Ліквідація підвалів, утворення технічного поверху замість першого з обмеженим перебуванням людей	
	Оптимальне розміщення приміщень	

Режимно-технологічні методи пов'язані з впровадженням заходів для видалення радону, а конструктивно-планувальні передбачають ізоляцію приміщень з тривалим перебуванням людей від надходження радону. Режимно-технологічні заходи реалізуються за такими напрямками: зниження ексхалляції радону з ґрунту, природне провітрювання та локальні системи витяжної вентиляції. Конструктивно-планувальні заходи здійснюються ліквідацією підвалів й створенням технічного поверху, оптимальним розміщенням приміщень, підвищенням ізоляційних властивостей перекриття та визначення шляхів видалення радону із загальних комунікацій.

Таблиця 6.4 - Протирадонові заходи під час експлуатації

Вхідні дані	Протирадонові заходи	Технологічні особливості виконання	Примітка
Конструктивно-планувальні рішення	Герметизація	- підлоги; - окремих щілин; - місць підведення комунікацій	Підлога: застосування поліетиленової плівки, нанесення монолітного шару бетону
	Нанесення захисних покриттів на внутрішні поверхні стін	Підвалу	Склоплитка або шлакосітал, захисна ґрунтатурка, рулонний ізоляційний матеріал на склотканині, обмазка гарячим бітумом, поліетиленова плівка на
		Житлові приміщення	Обклеювання стін мийчими шпалерами зменшує швидкість емісії радону на 30%, пластиковими матеріалами, типу поліаміду, полівінілхлориду, поліетилену чи трьома шарами олійної фарби – у 10 разів
	Перепрофілювання приміщень		Приміщення обмеженого перебування в короткочасного
Режимно-технологічні: зниження експлоатації радону з ґрунту	Улаштування захисного прямику вздовж усієї зовнішньої стіни підвалу з зовнішнім входом до підвалу		
	Укріплення, збільшення газонепроникності основи будови	Цементизація і силікатизація ґрунтів	В тих випадках, коли трапляється нерівномірне осідання фундаментів, утворюються кризіні щілини, які збільшують газопроникність будови
	Створення підвищеного тиску		Розташування вентилятора 60 Вт для надходження в будинок повітря з горища. В холодний період це потребує додаткового опалення приміщення
	Зменшення підпідлогового тиску		Радоновий уловлювач – це ніша в підлозі з вентилятором, який створює градієнт тиску, спрямованого назовні
	Підпідлогова вентиляція	Природна – кризь отвори в стінах	Примусова
Припливно-витяжна вентиляція з забором повітря в нижній зоні підвалу			

Важливим заходом для зниження радіаційної небезпеки є просвітницька робота серед населення. Основні напрямки екологічної освіти, виховання та інформації такі:

- запровадження у діяльність закладів дошкільної та позашкільної освіти теорії радіаційної небезпеки, природної радіоактивності: радіоактивність будівельних матеріалів, радон в повітрі приміщень;
- запровадження у діяльність закладів вищої освіти обов'язкових, факультативних занять з питань екологічного виховання;
- розробка методичних посібників, методичних рекомендацій, навчально-дидактичних матеріалів, підручників, науково-популярних видань, що розкривають зміст, форми та методи екологічного виховання;
- розвиток міждисциплінарних підходів до післядипломної підготовки з питань радіаційної якості будівельного об'єкта (проведення науково-практичних конференцій, перепідготовка кадрів тощо);
- систематизування висвітлення питань стану радононебезпечних урбанізованих територій, створення спеціальних випусків теле- та радіопрограм, розділів у масовій пресі, присвячених методам та заходам для зменшення радону-222 в повітрі житлових приміщень;
- вдосконалення регіональної системи моніторингу для забезпечення швидкого та систематичного збирання даних, вимірювання ЕРОА радону-222, їх обробку та доведення їх до відома широких верств населення.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ДЛЯ ПЕРЕВІРКИ ЗНАТЬ

1. Охарактеризуйте основні джерела радіаційного забруднення.
2. Наведіть регламентовані радіаційні параметри.
3. Розкрийте суть моніторингу радіаційного стану.
4. Поясніть структурно-алгоритмічну модель моніторингу радіаційного фактора.
5. Які ієрархічні зв'язки факторів, що впливають на прийняття організаційно-технологічних рішень для зменшення радононебезпеки?
6. Охарактеризуйте фактори впливу як лігвістичні змінні оцінювання радононебезпеки.
7. Поясніть суть моделювання на базі теорії нечіткої логіки прийняття організаційно-технологічних рішень для зменшення радононебезпеки.
8. Охарактеризуйте приміщення за режимом використання людиною та імовірністю накопичення радону.
9. Наведіть класифікацію протирадонових заходів в залежності від наявності експертно-лінгвістичної інформації.

Література

1. Барановський А. Екологічна географія і екологічна картографія. –К.: Фітоцентр, 2001. – 252с.
2. Бронштейн Д.Л., Александров Н.Н. Современные средства измерения загрязнения атмосферы. –Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 327с.
3. ДБН В.1.4-1.01.97 Система норм та правил зниження рівня іонізуючих випромінювань природних радіопуклідів в будівництві. –К.: Держкоммстобудування України, 1997. – 100с.
4. ГОСТ 17.0.0.04-90. Охрана природы. Экологический паспорт промышленного предприятия. –М.: Издательство стандартов, 1990. – 22с.
5. ГОСТ 17.0.0.04-90. Охрана природы. Атмосфера. Правила определения гранично-допустимых отходов вредных веществ промышленными предприятиями. –М.: Издательство стандартов, 1976. – 14с.
6. Закон України “Про охорону атмосферного повітря”. –К.:, 1992. – 8с.
7. Закон України “Про охорону навколишнього середовища”. //ВВР. – 1991. -№41. – 546с.
8. Израэль Ю.А. Экология и контроль состояния природной среды. –М.: Гидрометеиздат, 1984. –560с.
9. Інструкція про порядок розробки та затвердження гранично допустимих скидів (ГДС) речовин у водні об’єкти із зворотними водами. –К.:, 1994. – 96с.
10. Інструкція щодо оформлення та змісту проекту нормативів гранично допустимих викидів забруднюючих речовин у атмосферу повітря від стаціонарних джерел. –К.: Мінскобезпеки України, 1996. – 20с.
11. Крапивин В.С. Проблемы мониторинга. –М.: Знание, 1991. – 64с.
12. Капинос П.И., Панасенко Н.А. Охрана природы. –К.: Вища школа, 1989. –255с.
13. Лаптев А.А. и др. Охрана и оптимизация окружающей среды. –К.: Либідь, 1990. – 256с.
14. Лаптев Н.П. Научные основы охраны природы. –Томск: Изд-во Томского университета, 1970. – 490с.
15. Лялюк О.Г., Ратушняк Г.С. Мониторинг атмосферного повітря. Навчальний посібник. –Вінниця: ВДТУ, 1998. – 94с.
16. Лялюк О.Г. Управління проектами зменшення радіопонебезпеки в будівництві. Монографія –Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2003. – 139с.
17. Мацнев А.І., Проценко С.Б., Саблій Л.А. Мониторинг та інженерні методи охорони довкілля. Навчальний посібник. –Рівне: ВАТ “Рівенська друкарня”, 2000. – 504с.
18. Мацнев А.І., Проценко С.Б., Саблій Л.А. Практикум з моніторингу та інженерних методів охорони довкілля. –Рівне: ВАТ “Рівенська друкарня”, 2002. – 460с.
19. Мокін В.Б., Мокін Б.І. Математичні моделі та програми для оцінювання якості річкових вод. –Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2000. –152с.

20. ОНД-86. Методика розрахунку концесій в атмосферному повітрі шкідливих речовин, які містяться в викидах підприємств. –Л.: Гідрометео видав, 1987. – 93с.
21. Основні напрямки державної політики України у галузі охорони довкілля, використання природних ресурсів та забезпечення екологічної безпеки. –К., 1999. – 92с.
22. Положення про моніторинг земель. Затверджено постановою кабінету Міністрів України від 20 серпня 1993 р. №661.
23. Порядок здійснення державного моніторингу вод. Затверджено постановою кабінету Міністрів України від 20 липня 1996 р. №815.
24. Положення про державну систему моніторингу довкілля. Затверджено постановою кабінету Міністрів України від 30 березня 1998 р. №391.
25. Порядок організації та проведення моніторингу у галузі охорони атмосферного повітря. Затверджено постановою кабінету Міністрів України від 9 березня 1999 р. №661.
26. Порядок встановлення нормативів збору за забрудненням навколишнього природного середовища і стягнення цього збору. Затверджено постановою кабінету Міністрів України від 1 березня 1999 р. №303.
27. Ратушняк Г.С. Инженерные изыскания и специальные гидрологиклиматические исследования. –К.: УМК ВО, 1991. –116с.
28. Ратушняк Г.С., Слободян Н.М. Інженерні методи захисту біосфери. Навчальний посібник. –Вінниця: ВДТУ, 2003. –115с.
29. Ратушняк Г.С., Шамацький С.Й. Критеріальний метод оцінювання засобів обліку в системах водопостачання. Монографія–Вінниця: УНІВЕРСУМ–Вінниця, 2003. – 180с.
30. Руденко Л.Г., Пархоменко О.Г., Молочко А.Н. и др. Картографическое исследование природоиспользования (теория и практика работ). –К.: Наукова думка, 1991. – 212с.
31. Сердюк В.Р., Лялюк О.Г. Організаційно-технологічне забезпечення зниження радіаційної небезпеки в будівництві. Навчальний посібник. –Вінниця: ВДТУ, 1999. – 74с.
32. СНиП 2.02.01-82. Строительная климатология и геофизика. –М.: Стройиздат, 1983. – 76с.
33. Северин, Л.І. Захист атмосфери. Ч.І. –Вінниця: ВПИ, 1994. –77с.
34. Тищенко Н.Ф. Охрана атмосферного воздуха. Расчет содержания водных веществ и их распределение в воздухе: Справочник. – М.: Химия, 1991. –368с.
35. Шпак Г. Моніторинг довкілля та інженерні методи охорони біосфери. –Львів: Львівська політехніка, 1997. –234с.
36. Тетиор А.Н. Строительная экология. –К.: УМК ВО, 1991. – 276с.
37. Экономическая антология (экологические произведения западных авторов). – Москва-Бостон, 1992. – 268с.

Навчальне видання

Олена Георгіївна Лялюк
Георгій Сергійович Рагушняк

МОНІТОРИНГ ДОВКІЛЛЯ

Навчальний посібник

Оригінал-макет підготовлено авторами

Редактор О.Д. Скалоцька

Навчально-методичний відділ ВНТУ
Свідоцтво Держкомінформу України
серія ДК № 746 від 25.12.2001
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, ВНТУ

Підписано до друку 1.10.04р. Гарнітура Times New Roman
Формат 29,7×42¹/₄ Папір офсетний
Друк різнографічний Ум. друк. арк. 7.79
Тираж 75 прим.
Зам № 2004 - 155

Віддруковано в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі
Вінницького державного технічного університету.
Свідоцтво Держкомінформу України
серія ДК № 746 від 25.12.2001
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95